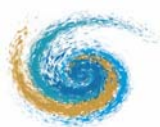




ΕΘΝΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΑΓΡΟΤΙΚΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ
ΙΝΣΤΙΤΟΥΤΟ ΑΛΙΕΥΤΙΚΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ



ΜΟΥΣΕΙΟ ΓΟΥΛΑΝΔΡΗ ΦΥΣΙΚΗΣ ΙΣΤΟΡΙΑΣ
ΕΛΛΗΝΙΚΟ ΚΕΝΤΡΟ ΒΙΟΤΟΠΩΝ ΥΓΡΟΤΟΠΩΝ



*“Συντονισμένες Δράσεις για τη
Διαχείριση της Παράκτιας Ζώνης του
Στρυμονικού Κόλπου”*

Δράση 2: Παρακολούθηση

**ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗ ΑΒΙΟΤΙΚΩΝ ΚΑΙ ΒΙΟΤΙΚΩΝ
ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ ΣΤΟΥΣ ΚΟΛΠΟΥΣ ΣΤΡΥΜΟΝΙΚΟΥ ΚΑΙ
ΙΕΡΙΣΣΟΥ**



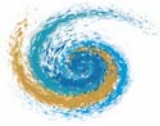
Δεκέμβριος 1999



ΕΘΝΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΑΓΡΟΤΙΚΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ
ΙΝΣΤΙΤΟΥΤΟ ΑΛΙΕΥΤΙΚΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ



ΜΟΥΣΕΙΟ ΓΟΥΛΑΝΔΡΗ ΦΥΣΙΚΗΣ ΙΣΤΟΡΙΑΣ
ΕΛΛΗΝΙΚΟ ΚΕΝΤΡΟ ΒΙΟΤΟΠΩΝ ΥΓΡΟΤΟΠΩΝ



*“Συντονισμένες Δράσεις για τη
Διαχείριση της Παράκτιας Ζώνης του
Στρυμονικού Κόλπου”*

Δράση 2: Παρακολούθηση

ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗ ΑΒΙΟΤΙΚΩΝ ΚΑΙ ΒΙΟΤΙΚΩΝ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ ΣΤΟΥΣ ΚΟΛΠΟΥΣ ΣΤΡΥΜΟΝΙΚΟΥ ΚΑΙ ΙΕΡΙΣΣΟΥ

Ε. ΚΟΥΤΡΑΚΗΣ, Ε. ΛΑΖΑΡΙΔΟΥ,
Ε. ΜΙΧΑΛΑΤΟΥ
(Συντονιστές έκδοσης)



Η παρούσα εργασία χρηματοδοτήθηκε από την Ευρωπαϊκή Επιτροπή, Γενική Διεύθυνση XI, το Υπουργείο Γεωργίας και το ΥΠΕΧΩΔΕ, στο πλαίσιο του έργου «Συντονισμένες Δράσεις για τη Διαχείριση της Παράκτιας Ζώνης του Στρυμονικού Κόλπου», το οποίο ανήκει στο Πανευρωπαϊκό Πρόγραμμα Επίδειξης για την Ολοκληρωμένη Διαχείριση των Παράκτιων Ζωνών (Κοινή Πρωτοβουλία των ΓΔ XI, XIV και XVI). Το έργο εκτελέστηκε από το Ινστιτούτο Αλιευτικής Έρευνας Καβάλας του Εθνικού Ιδρύματος Αγροτικής Έρευνας σε συνεργασία με το Ελληνικό Κέντρο Βιοτόπων - Υγροτόπων του Μουσείου Γουλανδρή Φυσικής Ιστορίας, με βάση το συμβόλαιο LIFE96ENV/GR/00564/PAZ μεταξύ της Ευρωπαϊκής Επιτροπής και του Ινστιτούτου Αλιευτικής Έρευνας.

The present work was co-funded by the European Commission DG XI, the Greek Ministry of Agriculture and the Greek Ministry of Environment, Physical Planning and Public Works in the context of the project "Concerted Actions for the Management of Strymonikos Gulf" which is part of the EU Demonstration Programme on Integrated Management in Coastal Zones (Joint Initiative of DGs XI, XIV and XVI). The project was executed by the Fisheries Research Institute of Kavala - National Agricultural Research Foundation and the Greek Biotope/Wetland Centre - The Goulandris Natural History Museum under the contract LIFE96ENV/GR/00564/PAZ between the European Commission and the Fisheries Research Institute of Kavala.

Η πλήρης αναφορά στο κείμενο αυτό είναι:

Κουτράκης Ε., Ε. Λαζαρίδου, Ε. Μιχαλάτου (Συντονιστές έκδοσης). 1999. Δράση 2: Παρακολούθηση. Παρακολούθηση αβιοτικών και βιοτικών παραμέτρων στους Κόλπους Στρυμονικού και Ιερισσού. Ινστιτούτο Αλιευτικής Έρευνας - Εθνικό Ιδρύμα Αγροτικής Έρευνας, Ελληνικό Κέντρο Βιοτόπων – Υγροτόπων, Μουσείο Γουλανδρή Φυσικής Ιστορίας. Θεσσαλονίκη, 69 σελ.

This document may be cited as follows:

Koutrakis E., E. Lazaridou, H. Mihalatou (Editors). 1999. Action 2: Monitoring. Monitoring of abiotic and biotic parameters in Strymonikos and Ierissos Gulfs. Fisheries Research Institute - National Agricultural Research Foundation, Greek Biotope/Wetland Centre, The Goulandris Natural History Museum. Thessaloniki, 69 p.

Φωτογραφία εξωφύλλου: Δημήτρης Σαββαρίκας

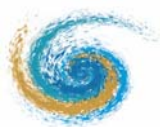


NATIONAL AGRICULTURAL RESEARCH
FOUNDATION

**FISHERIES
RESEARCH
INSTITUTE**



GOULANDRIS NATIONAL HISTORY MUSEUM
GREEK BIOTOPE /WETLAND CENTRE



*“Concerted Actions for the Management
of the Strymonikos Coastal Zone”*

Action 2: Monitoring

**MONITORING OF ABIOTIC AND BIOTIC PARAMETERS OF
STRYMONIKOS AND IERISSOS GULFS**

E. KOUTRAKIS, E. LAZARIDOU
H. MIHALATOU
Editors



December 1999



ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Η εκπόνηση της παρούσας εργασίας είναι αποτέλεσμα στενής συνεργασίας επιστημόνων και τεχνικών από το Ινστιτούτο Αλιευτικής Έρευνας (ΙΝΑΛΕ) και από το Ελληνικό Κέντρο Βιοτόπων-Υγροτόπων (ΕΚΒΥ), τους οποίους ευχαριστούμε θερμά.

Ευχαριστίες εκφράζονται στους ψαράδες της ιχθυόσκαλας των Ν. Κερδυλλίων και στον κ. Αντώνη Μαγουνάκη για τη συμβολή τους στη διενέργεια των δειγματοληψιών. Τον κ. Νικόλαο Μήτσιου, πρώην πρόεδρο της Κοινότητας Ολυμπιάδος, ευχαριστούμε για την αμέριστη βοήθειά του στην πραγματοποίηση των δειγματοληψιών. Ευχαριστούμε επίσης το Λιμεναρχείο Ιερισσού για τη συμβολή του στη διευκόλυνση και πραγματοποίηση των δειγματοληψιών καθώς και την Εφορία Εναλίων Αρχαιοτήτων για την έγκαιρη αδειοδότηση πραγματοποίησης των καταδύσεων

Θερμά ευχαριστούμε τον Τομέα Βοτανικής του Τμήματος Βιολογίας του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης για την παραχώρηση χρήσης του εργαστηριακού εξοπλισμού για τους προσδιορισμούς της αφθονίας του φυτοπλαγκτού και των πικοκυανοβακτηρίων.

Ιδιαίτερες ευχαριστίες εκφράζονται στην κ. Κωνσταντίνα Νάκου για την τεχνική της βοήθεια στο εργαστήριο.

Οι συντονιστές έκδοσης

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η παρούσα εργασία πραγματοποιήθηκε ως μέρος του έργου Life "Συντονισμένες Δράσεις για τη Διαχείριση της Παράκτιας Ζώνης του Στρυμονικού Κόλπου", το οποίο εντάσσεται στο Πανευρωπαϊκό Πρόγραμμα Επίδειξης για την Ολοκληρωμένη Διαχείριση των Παράκτιων Ζωνών.

Το έργο αφορά την παράκτια ζώνη του Στρυμονικού Κόλπου και του Κόλπου της Ιερισσού. Η διάρκειά του ήταν τρία έτη (1997-1999). Χρηματοδοτήθηκε από την Ευρωπαϊκή Επιτροπή (Γ.Δ. XI, Χρηματοδοτικό μέσο LIFE) (50%), το Εθνικό Ιδρύμα Αγροτικής Έρευνας (ΕΘΙΑΓΕ) (30%) και το Υπουργείο ΠΕΧΩΔΕ (20%). Οι φορείς υλοποίησης του έργου είναι το Ινστιτούτο Αλιευτικής Έρευνας (ΙΝΑΛΕ) του ΕΘΙΑΓΕ και το Ελληνικό Κέντρο Βιοτόπων-Υγροτόπων (ΕΚΒΥ) του Μουσείου Γουλανδρή Φυσικής Ιστορίας.

Η υλοποίηση του έργου επιτεύχθηκε με μια σειρά δράσεων. Η παρούσα έκδοση περιλαμβάνει τα αποτελέσματα της δράσης "Παρακολούθηση" κατά την οποία πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις φυσικοχημικών και βιολογικών παραμέτρων σε πλέγμα σταθμών στον Στρυμονικό Κόλπο και στον Κόλπο της Ιερισσού.

Οι μετρήσεις των φυσικών (αλατότητα, θερμοκρασία και διαλυμένο οξυγόνο) και χημικών (νιτρικά, νιτρώδη, αμμωνιακά, φωσφορικά, πυριτικά άλατα) παραμέτρων, οι προσδιορισμοί των συγκεντρώσεων της χλωροφύλλης α και η παρακολούθηση των λιβαδιών του φανερογάμου *Posidonia oceanica* πραγματοποιήθηκαν από το Ινστιτούτο Αλιευτικής Έρευνας. Οι μετρήσεις για τις φυσικοχημικές παραμέτρους και τη χλωροφύλλη α πραγματοποιήθηκαν σε μηνιαία βάση σε τρεις σταθμούς στον Στρυμονικό Κόλπο. Η παρακολούθηση των λιβαδιών πραγματοποιήθηκε σε εποχική βάση σε έναν σταθμό στον Στρυμονικό Κόλπο και σε έναν σταθμό στον Κόλπο της Ιερισσού.

Οι προσδιορισμοί της αφθονίας του φυτοπλαγκτού πραγματοποιήθηκαν από το Ελληνικό Κέντρο Βιοτόπων – Υγροτόπων. Οι δειγματοληψίες ήταν μηνιαίες και πραγματοποιήθηκαν στον Στρυμονικό Κόλπο, στους ίδιους σταθμούς στους οποίους πραγματοποιήθηκαν και οι μετρήσεις των φυσικοχημικών παραμέτρων και της χλωροφύλλης α.

Στην παρούσα έκδοση παρατίθενται οι αναφορές των ομάδων εργασίας σε ξεχωριστά κεφάλαια, όπως έχουν δοθεί από τους ερευνητές, χωρίς παρέμβαση από την ομάδα συντονισμού του προγράμματος. Κάθε αναφορά συνοδεύεται από αγγλική

περίληψη, ενώ οι τίτλοι των εικόνων και των πινάκων παρατίθενται στην αγγλική γλώσσα στο τέλος κάθε κεφαλαίου.

PREFACE

The present study was undertaken under the project "Concerted Actions for the Management of the Strymonikos Coastal Zone", which is part of the EU Demonstration Programme for Integrated Coastal Zone Management.

The project covered the coastal zone of Strymonikos and Ierissos Gulfs and lasted for three years (1997 – 1999). It was funded by the European Commission (DG XI - Life) (50 %), the Greek Ministry of Agriculture (30 %) and the Greek Ministry of Environment (20 %). The project was executed by the Fisheries Research Institute of Kavala – National Agricultural Research Foundation and the Greek Biotope/Wetland Centre – The Goulandris Natural History Museum.

The aims of the project were achieved by six actions. The present edition includes the results of the action "Monitoring". By this action a monitoring programme for the study of key physicochemical parameters and biological processes in the marine environment of Strymonikos and Ierissos Gulfs was set up.

The estimation of physical (salinity, temperature and dissolved oxygen) and chemical (nitrates, nitrites, phosphates and silicates) parameters, the measurements of chlorophyll a concentration and the monitoring of *Posidonia oceanica* beds were on the responsibility of Fisheries Research Institute. Samplings for physicochemical parameters and chlorophyll a were carried out on a monthly basis, whereas the monitoring of the beds of *Posidonia oceanica* were seasonal.

The study of phytoplankton abundance in Strymonikos Gulf was on the responsibility of Greek Biotope/Wetland Centre. Samplings were carried out at monthly intervals in the same sampling stations as for the study of physicochemical parameters and chlorophyll a.

In this edition the reports of the working teams are given in different chapters. Writers have full responsibility of the results they present. Reports are given in Greek with an English summary. English legends of Figures and Tables are given at the end of each chapter.

ΓΕΝΙΚΟΣ ΣΥΝΤΟΝΙΣΜΟΣ ΕΡΓΟΥ

Κουτράκης Ε., Επιστημονικός Υπεύθυνος
Λαζαρίδου Ε., Επιστημονική Συνυπεύθυνη
Αργυροπούλου Μ.,
Σκορδάς Κ.,
Μιχαλάτου Ε.,

Δρ. Βιολόγος, ΙΝΑΛΕ – ΕΘΙΑΓΕ
Δρ. Βιολόγος, ΕΚΒΥ
Δρ. Βιολόγος, ΙΝΑΛΕ – ΕΘΙΑΓΕ
Δασολόγος, ΕΚΒΥ
Βιολόγος, ΕΚΒΥ

Τεχνική – Γραμματειακή Υποστήριξη

Χατχημμανουήλ Π.,

ΙΝΑΛΕ – ΕΘΙΑΓΕ

ΟΜΑΔΕΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Φυσικοχημικές παράμετροι, χλωροφύλλη α

Σταμάτης Ν.,
Ιωαννίδου Δ.,
Κουτράκης Ε.,

Δρ. Χημικός, ΙΝΑΛΕ – ΕΘΙΑΓΕ
Περιβαλλοντολόγος, ΙΝΑΛΕ – ΕΘΙΑΓΕ
Δρ. Βιολόγος, ΙΝΑΛΕ – ΕΘΙΑΓΕ

Φυτοπλαγκτό

Μιχαλάτου Ε.,

Βιολόγος, ΕΚΒΥ

Παρακολούθηση λιβαδιών της *Posidonia oceanica*

Ορφανίδης Σ.,
Τσιάγγα Ε.,
Λαζαρίδου Ε.,
Σεφερλής Μ.,
Ποντζουκτσίδης Ι.,

Δρ. Βιολόγος, ΙΝΑΛΕ – ΕΘΙΑΓΕ
Βιολόγος, ΙΝΑΛΕ – ΕΘΙΑΓΕ
Δρ. Βιολόγος, ΕΚΒΥ
Βιολόγος, ΕΚΒΥ
Τεχνικός, ΙΝΑΛΕ – ΕΘΙΑΓΕ

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΕΙΣΑΓΩΓΗ	xī
Σταμάτης Ν., Ιωαννίδου Δ., Κουτράκης Ε.	
Θρεπτικά άλατα, χλωροφύλλη, θερμοκρασία, αλατότητα και διαλυμένο οξυγόνο σε τρεις περιοχές του Στρυμονικού Κόλπου.....	1-10
Μιχαλάτου Ε.	
Ποιοτική και ποσοτική ανάλυση του φυτοπλαγκτού στον Στρυμονικό Κόλπο.....	11-28
Ορφανίδης Σ., Τσιάγγα Ε., Λαζαρίδου Ε.	
Παρακολούθηση της <i>Posidonia oceanica</i> (L.) Delile στον Στρυμονικό Κόλπο	29-68
Άλλες βιβλιογραφικές πηγές	69

CONTENTS

INTRODUCTION	xi
 Stamatis N., Ioannidou D., Koutrakis E.	
Nutrients, chlorophyll, temperature, salinity and dissolved oxygen in three areas in Strymonikos Gulf	1-10
 Mihalatou E.	
Qualitative and quantitative measurements of phytoplankton in Strymonikos Gulf	11-28
 Orfanidis S., Tsiaga E. and Lazaridou E.	
Monitoring of <i>Posidonia oceanica</i> (L.) Delile in Strymonikos Gulf	29-68
 Supplementary bibliographical sources	 69

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η παρακολούθηση διαφόρων βιοτικών και αβιοτικών παραμέτρων του φυσικού περιβάλλοντος αποτελεί αναπόσπαστο εργαλείο στα σχέδια διαχείρισης περιοχών, γιατί μέσω της περιοδικής τροφοδότησης με νέα δεδομένα των επιμέρους θεματικών τομέων του σχεδίου διαχείρισης συμβάλλει στην τροποποίησή του, έτσι ώστε να εκπληρώνονται οι γενικοί και ειδικοί σκοποί διαχείρισης.

Η παρακολούθηση αποτελεί ένα μέσο για την επίτευξη κάποιου σκοπού και μπορεί να καλύπτει μεγάλο φάσμα διαφορετικών διαδικασιών. Με τα προγράμματα παρακολούθησης επιχειρείται η διασφάλιση της ανίχνευσης των εν δυνάμει μεταβολών των οικολογικών χαρακτήρων μιας περιοχής (οικοσυστήματος), της κατεύθυνσή τους και ο προσδιορισμός της έντασης και έκτασής τους. Οι μεταβολές αυτές μπορεί να είναι:

- Θετικές, εάν έχει συντελεστεί βελτίωση κάποιων υποβαθμισμένων λειτουργιών, προϊόντων ή γνωρισμάτων της περιοχής (οικοσυστήματος) ή
- Αρνητικές (δυσμενείς), όταν οι μεταβολές των οικολογικών χαρακτήρων και των αλληλεπιδράσεων μεταξύ τους συντελούν στην υποβάθμιση της ποιότητας των φυσικών, προστατευτικών και παραγωγικών λειτουργιών της περιοχής (οικοσυστήματος) και συνεπώς της αξίας της για την ανθρώπινη κοινωνία.

Σύμφωνα με τον Hellawell (1991) **παρακολούθηση** (monitoring) είναι η περιοδική (σε τακτούς ή μη τακτούς χρόνους) επισκόπηση που διεξάγεται για να ελέγξει τον βαθμό συμφωνίας με κάποια προκαθορισμένη τιμή (standard) ή δεδομένα βάσης (baseline data), ή τον βαθμό απόκλισης από μία προσδοκώμενη πρότυπη τιμή. Παραδείγματα τέτοιων σταθεροτύπων ή δεδομένων βάσης, είναι ο πληθυσμός ενός είδους ζώου, η φυτική βιομάζα, κατάλογοι ειδών ή ο αριθμός ειδών, η δομή ενδιαιτημάτων, η ταξινόμηση φυτοκοινωνιών, η παρουσία ή απουσία ειδών - ενδεικτών.

Είναι φανερό λοιπόν, ότι ο σχεδιασμός και η λειτουργία ενός προγράμματος παρακολούθησης επιβάλλουν τον καθορισμό των δεδομένων βάσης, ακόμη και σε ελλιπή μορφή, πριν αρχίσει να ασκείται παρακολούθηση.

Η παρακολούθηση δεν αποτελεί αυτοσκοπό αλλά μέσο εξυπηρέτησης των διαχειριστικών σκοπών. Η μέτρηση των παραμέτρων δεν πρέπει να αποτελεί τη βασική ενέργεια, αλλά η παρακολούθηση να εφαρμόζεται με βάση τα θέματα που έχουν

καθοριστεί ως καίρια, και με βάση τους σκοπούς διαχείρισης. Ιδανικά, η περιοχή θα πρέπει να υπόκειται σε ολοκληρωμένο σχέδιο διαχείρισης, το οποίο να προβλέπει τους τρόπους αξιοποίησης των αποτελεσμάτων της παρακολούθησης. Εν απουσία ολοκληρωμένου διαχειριστικού σχεδίου, έχει κρίσιμη σημασία το εκάστοτε ειδικό σχέδιο διαχείρισης να προσδιορίζει και να διασφαλίζει τους τρόπους αξιοποίησης των αποτελεσμάτων της παρακολούθησης (Finlayson 1996)

Η οργάνωση ενός προγράμματος παρακολούθησης μπορεί να διεξάγεται σε τρία επίπεδα:

1. σε επίπεδο περιοχής (παρακολούθηση της κατά χώρο δομής του τοπίου),
2. σε επίπεδο τύπων οικοτόπων και
3. σε επίπεδο ειδών χλωρίδας και πανίδας

Η παρακολούθηση σε επίπεδο περιοχής μπορεί επίσης να περιλαμβάνει:

α. την παρακολούθηση των απειλών, όπου βασικά στοιχεία της θα είναι ο έλεγχος τήρησης των περιβαλλοντικών όρων που επιβάλλονται σε έργα με εγκεκριμένη ΜΠΕ, η παρακολούθηση απειλών στο στάδιο σχεδιασμού και η παρακολούθηση κοινωνικο-οικονομικών παραμέτρων της ευρύτερης περιοχής,

β. την παρακολούθηση της αποτελεσματικότητας της διαχείρισης, μέσω ποικίλων πρακτικών, (π.χ. αυτοαξιολόγηση του φορέα διαχείρισης, αξιολόγηση από ανώτερη αρχή, ανεξάρτητη αξιολόγηση από εξωτερικούς ειδικούς, βαθμός απορρόφησης προϋπολογισμών και τήρηση χρονοδιαγραμμάτων, αποτίμηση της επίτευξης των σκοπών διαχείρισης, αξιολόγηση σχέσης κόστους - αποτελεσματικότητας, χρήση πινάκων ελέγχου - checklist).

Στα πλαίσια της δράσης "Παρακολούθηση" του έργου Life για τον Στρυμονικό Κόλπο, πραγματοποιήθηκε ένα εκτεταμένο πρόγραμμα απλών επισκοπήσεων των κυριότερων φυσικοχημικών και βιολογικών παραμέτρων, οι οποίες χρησιμοποιούνται ως βασικοί ενδείκτες της οικολογικής κατάστασης του θαλάσσιου περιβάλλοντος, με σκοπό την πιστοποίηση της ποικιλίας και του εύρους διακύμανσης των παραμέτρων αυτών. Δημιουργήθηκε έτσι μια χρονική σειρά καταστάσεων και τιμών με αποτέλεσμα την διαμόρφωση της εικόνας που επικρατεί. Πρέπει να σημειωθεί η απουσία παλαιότερων δεδομένων για τις παραμέτρους που μελετήθηκαν στην παρούσα εργασία. Παράλληλα,

εντοπίστηκαν πιθανές απειλές για το θαλάσσιο περιβάλλον, ιδιαίτερα σε ότι αφορά στη ρύπανση και τον ευτροφισμό. Τα αποτελέσματα που προέκυψαν αναδεικνύουν την αναγκαιότητα εφαρμογής προγράμματος παρακολούθησης έτσι ώστε να υπάρχει η δυνατότητα σχεδιασμού μέτρων για την ανάσχεση της όποιας περιβαλλοντικής υποβάθμισης.

Στη συνέχεια παρουσιάζονται αναλυτικά τα αποτελέσματα της μελέτης των παραμέτρων που μελετήθηκαν στα πλαίσια της δράσης του έργου "Παρακολούθηση".

ΘΡΕΠΤΙΚΑ ΑΛΑΤΑ, ΧΛΩΡΟΦΥΛΛΗ, ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ, ΑΛΑΤΟΤΗΤΑ ΚΑΙ ΔΙΑΛΥΜΕΝΟ ΟΞΥΓΟΝΟ ΣΕ ΤΡΕΙΣ ΠΕΡΙΟΧΕΣ ΤΟΥ ΣΤΡΥΜΟΝΙΚΟΥ ΚΟΛΠΟΥ

Ν. Σταμάτης, Δ. Ιωαννίδου, Ε. Κουτράκης

Analyses of water samples for the determination of nutrients at three stations in Strymonikos Gulf, during the period December 1997 – May 1999, presented particularly high concentrations of mean seasonal values of dissolved ortho – phosphates (up to $0,75 \mu\text{mol P-PO}_4 \text{ l}^{-1}$), nitrates (up to $15,7 \mu\text{mol N-NO}_3 \text{ l}^{-1}$), nitrites (up to $0,76 \mu\text{mol N-NO}_2 \text{ l}^{-1}$), ammonium (up to $1,78 \mu\text{mol N-NH}_4 \text{ l}^{-1}$) and silicates (up to $127,45 \mu\text{mol Si-SiO}_3 \text{ l}^{-1}$). The highest nutrient concentrations were measured at the sampling station in the river Strymon estuary. Based on nitrate concentrations, the coastal region of Strymon estuary, Stavros and Olympiada can be classified as eutrophic areas. Based on phosphate concentrations the coastal region of Strymon estuary can be classified as eutrophic area and the coastal region of Stavros and Olympiada as mesotrophic areas.

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Τα θρεπτικά άλατα είναι συστατικά που εμπεριέχονται σε λειτουργικές διαδικασίες των ζώντων οργανισμών. Τις συγκεντρώσεις τους στο θαλάσσιο περιβάλλον επηρεάζουν κατά κύριο λόγο γεωφυσικές και γεωχημικές διεργασίες αλλά όμως και βιολογικοί μηχανισμοί μεταφοράς και απομάκρυνσής τους. Οι ταχύτητες συσσώρευσης ανόργανου N, P, και Si στα βαθιά νερά καθορίζονται από τη βιολογική παραγωγικότητα των επιφανειακών στειβάδων, τις ταχύτητες αναγέννησης των διαφόρων στοιχείων και την κατακόρυφη διάχυση.

Η ανθρωπογενούς προέλευσης εναπόθεση ενώσεων φωσφόρου και αζώτου στο θαλάσσιο περιβάλλον προέρχεται συνήθως: α) από αστικά λύματα, που αποχύνονται στη θάλασσα είτε μέσω του αποχετευτικού συστήματος είτε μέσω των ποταμών και β) από γεωργικές καλλιέργειες, από τις οποίες μεταφέρονται με τα νερά της βροχής οι ενώσεις αυτές στη θάλασσα.

Το οικοσύστημα του Στρυμονικού Κόλπου αποτελεί ενδιαφέρουσα περίπτωση μελέτης των θρεπτικών αλάτων και συνεπώς της τροφικότητας των παράκτιων υδάτων για το λόγο ότι είναι ο τελικός αποδέκτης των υδάτων δύο κύριων λεκανών απορροής, αυτής του Ποταμού Στρυμόνα και αυτής της Μυγδονίας, η οποία εκβάλλει στον κόλπο μέσω του Ρήχειου Ποταμού. Είναι επίσης τελικός αποδέκτης αζωτούχων και φωσφορικών αλάτων που προέρχονται από αγροτικές, αστικές και βιομηχανικές δραστηριότητες στην παράλια ζώνη.

Στην παρούσα εργασία προσδιορίστηκαν συγκεντρώσεις θρεπτικών αλάτων, χλωροφύλλης και επιπλέον, καταγράφηκαν η θερμοκρασία, η αλατότητα και το διαλυμένο οξυγόνο σε τρεις σταθμούς, ευαίσθητων στη ρύπανση περιοχών του Στρυμονικού Κόλπου.

ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

Μηνιαίες δειγματοληψίες υδάτων πραγματοποιήθηκαν σε τρεις σταθμούς του Στρυμονικού Κόλπου για χρονικό διάστημα δεκαεννέα μηνών (Δεκέμβριος 97 έως Ιούνιος 99). Ο πρώτος σταθμός εγκαταστάθηκε περίπου 1 ν. μίλι ανοιχτά των εκβολών του Ποταμού Στρυμόνα σε βάθος 12 m περίπου (χάρτης 1). Απ' αυτόν ελήφθησαν δύο δείγματα στη στήλη με τη βοήθεια δειγματολήπτη νερού τύπου Ruttner, της εταιρίας Hydrobios, χωρητικότητας 1l ως εξής: λήψη δείγματος νερού ανά μέτρο και ακόλουθη ανάμειξη των δειγμάτων από το πρώτο έως το τέταρτο μέτρο (σταθμός 1α) και από το πέμπτο έως το ένατο μέτρο (σταθμός 1β). Ο δεύτερος και ο τρίτος σταθμός εγκαταστάθηκαν στο Σταυρό και στην Ολυμπιάδα αντίστοιχα (βλ. χάρτη). Από τους δύο αυτούς σταθμούς ελήφθησαν μόνο επιφανειακά δείγματα νερού σε απόσταση περίπου δέκα μέτρων από την ακτή. Στα δείγματα του νερού προσδιορίστηκαν οι συγκεντρώσεις του φωσφόρου των φωσφορικών, του αζώτου των νιτρικών, νιτρώδων και αμμωνιακών, του πυριτίου των πυριτικών αλάτων και της χλωροφύλλης-α με τη βοήθεια γνωστών φασματοφωτομετρικών μεθόδων [1], [2]. Οι προσδιορισμοί αυτοί πραγματοποιήθηκαν στο εργαστήριο βιοχημείας του Ινστιτούτου Αλιευτικής Έρευνας Καβάλας με αντιδραστήρια καθαρότητας pro analysis των εταιριών Merck και Riedel de Haen. Παράλληλα με τις δειγματοληψίες των υδάτων πραγματοποιήθηκε καταγραφή βασικών φυσικοχημικών παραμέτρων στο πεδίο. Η θερμοκρασία και η αλατότητα μετρήθηκαν με το ηλεκτρόδιο Tetracon 325, φορητού οργάνου, τύπου LF 340 της εταιρίας WTW και το οξυγόνο με το ηλεκτρόδιο CellOx 325, φορητού οργάνου, τύπου Oxi 597 της εταιρίας WTW.

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ - ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Στην Εικόνα 1 και στον Πίνακα 1 παρουσιάζονται αντίστοιχα οι μέσες εποχικές συγκεντρώσεις των θρεπτικών αλάτων και της χλωροφύλλης-α στους σταθμούς 1α, 1β, 2 και 3. Στα διαγράμματα της Εικόνας 2 δίνονται οι μέσες εποχικές κατακόρυφες κατανομές της θερμοκρασίας, της αλατότητας και του οξυγόνου στο σταθμό 1. Παρατηρούνται τα εξής:

α. Θρεπτικά άλατα

Οι μέσες εποχικές συγκεντρώσεις των ορθοφωσφορικών αλάτων ($P-PO_4$) στο σταθμό 1α κυμάνθηκαν από 0.16 έως 0.74 $\mu\text{mol l}^{-1}$, ήταν δηλαδή αυξημένες σε σχέση με αυτές του σταθμού 1β (0.08 έως 0.40 $\mu\text{mol l}^{-1}$) καθόλη τη διάρκεια των δειγματοληψιών. Στους σταθμούς 2 και 3 μετρήθηκαν χαμηλότερες συγκεντρώσεις ορθοφωσφορικών αλάτων (0.07 έως 0.22 $\mu\text{mol l}^{-1}$) απ' ότι στο σταθμό 1, εκτός μιας εξαίρεσης, τη συγκέντρωση 0.63 $\mu\text{mol l}^{-1}$ στο σταθμό 2 για το καλοκαίρι του 1998. Τα νιτρικά άλατα ($N-NO_3$), ως επικρατέστερη μορφή των αζωτούχων αλάτων, παρουσιάστηκαν επίσης με ιδιαίτερα αυξημένες μέσες εποχικές συγκεντρώσεις στο ανώτερο υδάτινο στρώμα του δέλτα (2.08 έως 9.06 $\mu\text{mol l}^{-1}$) αλλά όμως και στην Ολυμπιάδα (1.64 έως 12.11 $\mu\text{mol l}^{-1}$). Στο κατώτερο στρώμα των υδάτων του δέλτα και στο Σταυρό οι τιμές κυμάνθηκαν στα 2.00 $\mu\text{mol l}^{-1}$ περίπου, εκτός δύο εξαιρέσεων τις τιμές 6.54 και 3.26 $\mu\text{mol l}^{-1}$, τον χειμώνα και την άνοιξη 1999. Συνεπώς, για το επιφανειακό υδάτινο στρώμα του σημείου ανοιχτά των εκβολών του π. Στρυμόνα (1α) μετρήθηκε μεγαλύτερη φόρτιση ορθοφωσφορικών και νιτρικών αλάτων απ' ότι για το κατώτερο υδάτινο στρώμα (1β). Οι αυξημένες φορτίσεις φωσφόρου και αζώτου στην επιφάνεια του προαναφερθέντος σημείου μπορούν να εξηγηθούν από την επιρροή του π. Στρυμόνα, το υδάτινο στρώμα του οποίου εντοπίζεται στην επιφάνεια, έχοντας χαμηλότερη πυκνότητα από το υποκείμενο υδάτινο στρώμα. Η χαμηλότερη πυκνότητα του επιφανειακού στρώματος νερού αποδεικνύεται από τις τιμές της αλατότητας, οι οποίες μετρήθηκαν χαμηλότερες στην επιφάνεια από ότι στον πυθμένα του συγκεκριμένου σημείου (βλ. υποκεφάλαιο γ, αποτελέσματα αλατότητας). Οι συγκεντρώσεις των νιτρώδων αλάτων ($N-NO_2$), χωρίς να παρουσιάσουν σημαντικές αυξομειώσεις, κυμάνθηκαν σε χαμηλά επίπεδα, μεταξύ 0.07 και 0.39 $\mu\text{mol l}^{-1}$. Αυξημένες τιμές, 0.60, 0.65 και 0.84 $\mu\text{mol l}^{-1}$ μετρήθηκαν στους σταθμούς 1α, 2 και 3 αντίστοιχα, την άνοιξη 1999. Αντίθετα με τα νιτρώδη, τα αμμωνιακά άλατα ($N-NH_4$) παρουσίασαν σημαντικές διακυμάνσεις στις συγκεντρώσεις τους από 0.15 $\mu\text{mol l}^{-1}$ στο σταθμό 1β τον χειμώνα του 1998 έως 1.76 $\mu\text{mol l}^{-1}$ στο σταθμό 1α το φθινόπωρο του 1998. Οι μέσες συγκεντρώσεις των πυριτικών αλάτων ($Si-SiO_2$) ήταν αρκετά αυξημένες ($>25 \mu\text{mol l}^{-1}$) τόσο στο σταθμό της Ολυμπιάδας, την άνοιξη του 1998 (54.18 $\mu\text{mol l}^{-1}$) καθώς και τον χειμώνα (79.22 $\mu\text{mol l}^{-1}$) και την άνοιξη (73.85 $\mu\text{mol l}^{-1}$) του 1999, όσο και στο επιφανειακό στρώμα του σταθμού 1 (1α) το χειμώνα του 1998 (61.35 $\mu\text{mol l}^{-1}$). Στους υπόλοιπους δύο σταθμούς οι τιμές κυμάνθηκαν σε χαμηλότερα επίπεδα, από 4.46 έως 32.64 $\mu\text{mol l}^{-1}$.

Ανάλογα επίπεδα συγκεντρώσεων θρεπτικών αλάτων με αυτά των τριών περιοχών του Στρυμονικού Κόλπου μετρήθηκαν και στον εσωτερικό Σαρωνικό Κόλπο [3].

β. Χλωροφύλλη α

Τα επίπεδα των συγκεντρώσεων της χλωροφύλλης [α] παρουσιάζονται χαμηλά σε όλους τους σταθμούς, σχεδόν καθόλη τη διάρκεια των δειγματοληψιών και οι τιμές κυμαίνονται σε ποσοστό 91.6% μεταξύ 0.00 και 0.18 $\mu\text{g l}^{-1}$. Την άνοιξη του 1999, στο σταθμό 1α και τον χειμώνα του 1999, στο σταθμό 3 μετρήθηκαν υψηλότερες από τις προαναφερθείσες τιμές χλωροφύλλης, 0.44 και 0.42 $\mu\text{g l}^{-1}$ αντίστοιχα. Όπως φαίνεται στον πίνακα 1, οι τιμές της χλωροφύλλης στο επιφανειακό υδάτινο στρώμα του σταθμού 1 είναι υψηλότερες σε σχέση με αυτές του υποκείμενου υδάτινου στρώματος του ιδίου σταθμού.

γ. Θερμοκρασία - Αλατότητα - Διαλυμένο οξυγόνο

Οι τιμές της θερμοκρασίας και της αλατότητας σε σχέση με το βάθος στο σταθμό 1 παρουσίασαν τις μεγαλύτερες διακυμάνσεις (1 έως 3.4 °C και 9.2 έως 25.9 ppt αντίστοιχα, ανάλογα με την εποχή), (Εικόνα 2) στο βάθος του ενός μέτρου, εκεί δηλαδή όπου γινόταν η στρωματοποίηση των υδάτων χαμηλής και υψηλής αλατότητας. Η κατακόρυφη κατανομή των τιμών του διαλυμένου οξυγόνου στο σταθμό 1 παρέμεινε σταθερή. Καταγράφηκε όμως χρονική διακύμανση των μέσων τιμών από 6.5 mg l^{-1} το καλοκαίρι του 1998 έως 11.5 mg l^{-1} τον χειμώνα 1999.

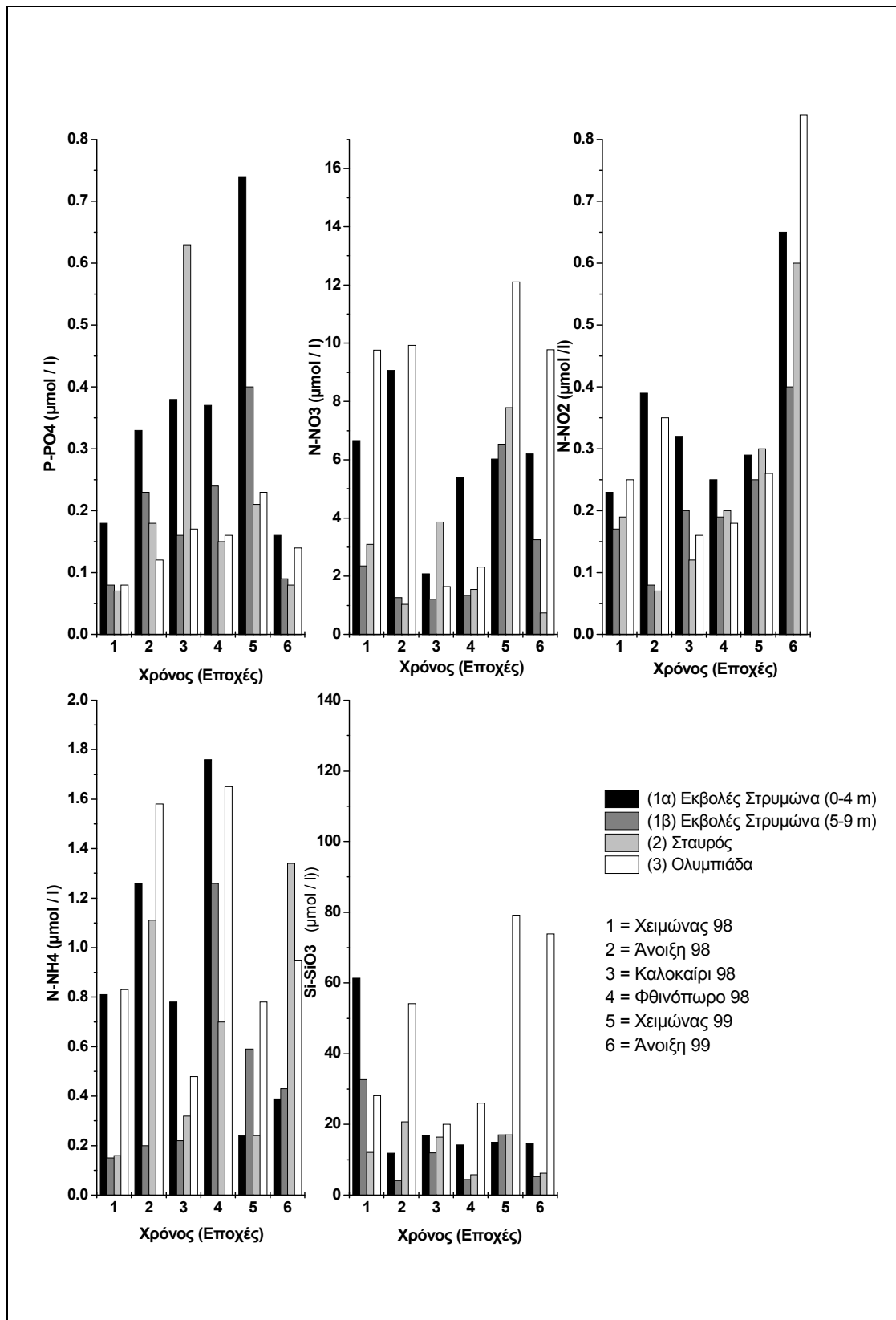
Στον πίνακα 2 παρουσιάζονται οι μέσες εποχικές τιμές της θερμοκρασίας, της αλατότητας και του διαλυμένου οξυγόνου στους σταθμούς 2 και 3 την περίοδο των δειγματοληψιών. Οι διακυμάνσεις της θερμοκρασίας στο σταθμό 2 (10.8 - 28.0 °C) μετρήθηκαν περισσότερο έντονες από ότι στο σταθμό 3 (11.9 - 27.1 °C). Η αλατότητα εμφανίζεται με χαμηλότερες τιμές στο σταθμό 3 (μέση τιμή, 29.0 ppt) από ότι στο σταθμό 2 (μέση τιμή, 31.7 ppt). Ενδεχόμενη εξήγηση μπορεί να δοθεί λόγω της εντονότερης επιρροής του π. Μαυρόλακκα στο σημείο 3 από αυτή του Ρήχιου στο σημείο 2. Για το διαλυμένο οξυγόνο μετρήθηκαν τιμές από 6.5 έως 13.5 ppm και από 6 έως 10.8 ppm στα επιφανειακά υδάτινα στρώματα των σημείων 2 και 3 αντίστοιχα.

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Σύμφωνα με τις οριακές τιμές για τα επίπεδα τροφισμού παράκτιων υδάτων [4] και με τις συγκεντρώσεις των νιτρικών αλάτων που μετρήθηκαν, τα παράκτια ύδατα στο δέλτα του Στρυμόνα, του Σταυρού και της Ολυμπιάδας ταξινομούνται στην εύτροφη ζώνη. Κατά τον ίδιο τρόπο και σύμφωνα με τις συγκεντρώσεις των

φωσφορικών αλάτων τα ύδατα του επιφανειακού στρώματος του δέλτα του Στρυμόνα ταξινομούνται στην εύτροφη ενώ αυτά του κατώτερου στρώματος του δέλτα, του Σταυρού και της Ολυμπιάδας στη μεσότροφη ζώνη. Παρόμοια με τη διακύμανση των τιμών των θρεπτικών αλάτων στο σταθμό 1 σε σχέση με το βάθος ήταν και η διακύμανση των τιμών της χλωροφύλλης-α, δηλαδή υψηλότερα επίπεδα τιμών στο επιφανειακό απ' ότι στο κατώτερο υδάτινο στρώμα του δέλτα. Η παροχή υδάτων χαμηλής αλατότητας, 1 ν. μίλι ανοιχτά του δέλτα που έχει ως συνέπεια τις αυξημένες τιμές συγκεντρώσεων των θρεπτικών αλάτων και της χλωροφύλλης γίνεται περισσότερο αισθητή στο επιφανειακό υδάτινο στρώμα του ενός μέτρου. Οι τιμές της αλατότητας στους σταθμούς 2 και 3 επηρεάζονται από παρακείμενα ποτάμια - όπως άλλωστε αναμένεται - σε μικρότερο βαθμό από ότι ο σταθμός 1.

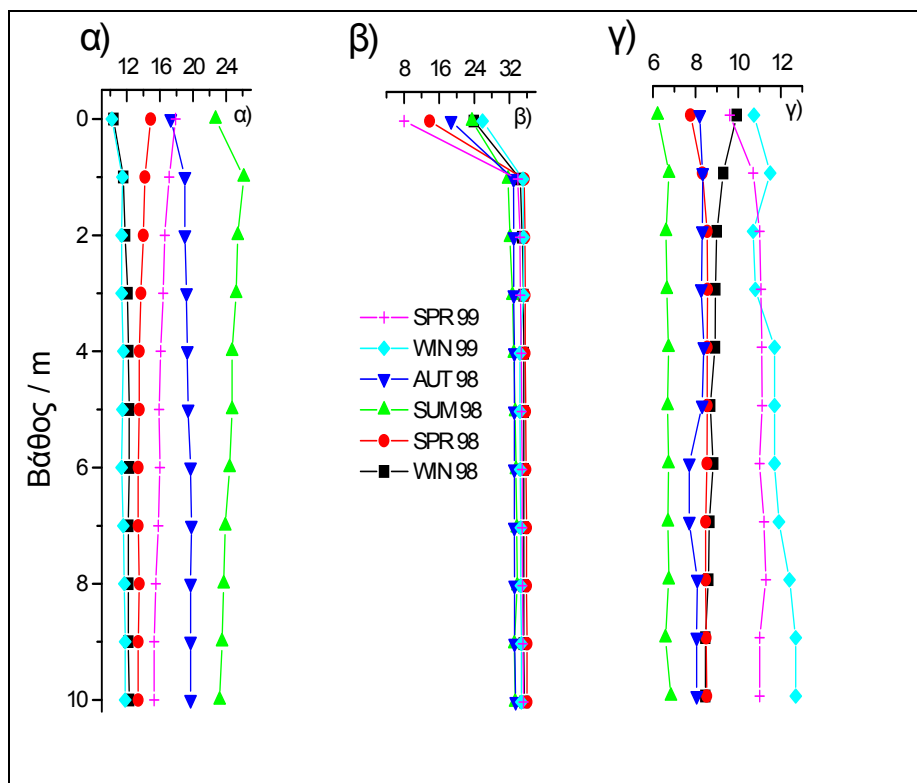
Η συνεχής παρακολούθηση (monitoring) της ποιότητας των υδάτων της παράκτιας ζώνης του Στρυμονικού Κόλπου είναι επιτακτική ανάγκη τόσο για τον έλεγχο της όσο και για τον έλεγχο των δύο σημαντικών λεκανών απορροής.



Εικόνα 1. Μέσες εποχικές συγκεντρώσεις θρεπτικών αλάτων στους σταθμούς 1α, 1β, 2 & 3

Πίνακας 1. Μέσες εποχικές τιμές χλωροφύλλης α (μg/l) στους σταθμούς δειγματοληψίας

	Χλωροφύλλη [α]			
	Σταθμός 1α	Σταθμός 1β	Σταθμός 2	Σταθμός 3
Χειμώνας 98	0,10	0,04	0,12	0,05
Άνοιξη 98	0,07	0,01	0,00	0,00
Καλοκαίρι 98	0,08	0,00	0,00	0,05
Φθινόπωρο 98	0,12	0,00	0,02	0,03
Χειμώνας 99	0,12	0,04	0,18	0,42
Άνοιξη 99	0,44	0,10	0,08	0,08



Εικόνα 2. Κατακόρυφη μέση εποχική κατανομή της α) θερμοκρασίας (°C), β) αλατότητας (ppt) και γ) του οξυγόνου (mg.l⁻¹) στον σταθμό 1.

Πίνακας 2. Μέσες εποχικές τιμές θερμοκρασίας, αλατότητας και διαλυμένου οξυγόνου στους σταθμούς δειγματοληψίας 2 και 3

	Θερμοκρασία (°C)		Αλατότητα (ppt)		Διαλ. Οξυγόνο (mg.l ⁻¹)	
	Σταθμός 2	Σταθμός 3	Σταθμός 2	Σταθμός 3	Σταθμός 2	Σταθμός 3
Χειμώνας 98	11,5	12,5	33,5	29,5	9,5	10,8
Άνοιξη 98	14,8	15,2	34,9	32,4	11,4	9,1
Καλοκαίρι 98	28,0	27,7	30,2	30,5	6,5	6,0
Φθινόπωρο 98	18,6	19,5	32,9	31,7	9,1	7,1
Χειμώνας 99	10,8	11,9	27,2	27,0	11,0	10,3
Άνοιξη 99	18,4	16,8	31,6	23,0	13,5	10,7



Χάρτης 1. Περιοχή μελέτης με τα σημεία δειγματοληψίας (■)

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Parsons, P., Maita, Y. & Lalli, C.M. 1989. A manual of chemical and biological methods of seawater analysis. Pergamon Press, London.
- Liddicoat, M.T., Tibbits, S. & Butler E.T., 1974. The determination of ammonia in Seawater. *Limnol. & Oceanogr.* 20, 132-151.
- Kitsiou, D. & Karydis, M. 1998. Development of categorical mapping for quantitative assessment of eutrophication, *J. Cost. Conserv.* 4: 35-44.
- Ignatiades, L., Karydis, M. & Vounatsou, P. 1992. A possible method for evaluating oligotrophy and eutrophication based on nutrient concentration scales. *Mar. Poll. Bull.* 24, 238-243.

FIGURE LEGENDS

Figure 1. Seasonal nutrient concentrations in stations 1a, 1b, 2 and 3.

Figure 2. Seasonal depth distribution of a) temperature ($^{\circ}\text{C}$), b) salinity (ppt), c) dissolved oxygen (mg.l^{-1}) in station 1.

TABLE LEGENDS

Table 1. Seasonal chlorophyll a concentrations ($\mu\text{g/l}$) in sampling stations.

Table 2. Seasonal depth distribution of a) temperature ($^{\circ}\text{C}$), b) salinity (ppt), c) dissolved oxygen (mg.l^{-1}) in stations 2 and 3.

MAP LEGENDS

Map 1. Study area showing the sampling stations (■).

ΠΟΙΟΤΙΚΗ ΚΑΙ ΠΟΣΟΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΟΥ ΦΥΤΟΠΛΑΓΚΤΟΥ ΣΤΟΝ ΣΤΡΥΜΟΝΙΚΟ ΚΟΛΠΟ

Ε. Μιχαλάτου

Phytoplankton abundance was studied for the first time, at monthly intervals, from December 1997 to June 1999, at three coastal stations in Strymonikos Gulf (estuary of river Strymon, Stavros and Olympiada). Additionally, since November 1998 picocyanobacteria abundance was also measured. Phytoplankton abundance in the estuary of river Strymon ranged from 42 to 13.217 cells mL^{-1} , in Stavros ranged from 10 to 1.658 cells mL^{-1} and in Olympiada from 30 to 2.025 cells mL^{-1} . The higher values were recorded in the estuary of river Strymon. Nanoplankton, mostly represented by flagellated forms, was the most important component of phytoplankton, while larger species were very scarce. The maximum phytoplankton densities were recorded in June 1999, when Chlorophyceae species bloomed in the river water and by being carried out from the river, they covered the upper surface layer of the west coast. At that time, the color of the sea water turned green and thick aggregates were floating in the surface. Phycoerythrin-rich cyanobacteria occurred at all depths and ranged from 3.5 to 55 $\times 10^6$ cells L^{-1} . At spring time, during the high fresh water run off, a relatively high contribution of phycocyanin-rich forms displayed higher concentrations in the less saline upper surface water in Strymon estuary, ranging from 1.5 to 26 $\times 10^6$ cells L^{-1} .

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Το φυτοπλαγκτό αποτελείται από μικροσκοπικού μεγέθους πλαγκτικούς οργανισμούς που παρουσιάζουν μεγάλη μορφολογική και λειτουργική ποικιλότητα. Οι οργανισμοί αυτοί είναι σχεδόν αποκλειστικά φωτοαυτότροφοι, προκαρυωτικοί ή ευκαρυωτικοί και μονοκύτταροι, με αρκετά είδη να σχηματίζουν αποικίες ή νημάτια. Η αύξησή τους εξαρτάται από την φωτοσυνθετική δέσμευση του άνθρακα, ενώ παράλληλα προσλαμβάνουν και ανόργανα θρεπτικά άλατα, υπό μορφή διαλυμένων ενώσεων. Θεμελιώδες χαρακτηριστικό τους είναι η διατήρησή τους σε αιώρηση μέσα στο υδάτινο περιβάλλον και για το σκοπό αυτό έχουν αναπτύξει ποικίλες προσαρμογές. Πολλά είδη που φέρουν μαστίγια ή άλλες δομές (π.χ. αεροτόπια), επιδεικνύουν μια μικρή ικανότητα αυτόνομης μετακίνησης, ενώ τα υπόλοιπα μεταφέρονται μέσα από τις δράσεις των κυμάτων και των ρευμάτων.

Ιδιαίτερο γνώρισμα της φυτοπλαγκτικής κοινωνίας αποτελεί το γεγονός ότι ένας σημαντικός αριθμός ειδών (>30) συνυπάρχει σε έναν μικρό όγκο νερού (<1l) (παράδοξο του πλαγκτού). Το γεγονός αυτό οφείλεται κυρίως στο ότι οι συνθήκες στα μικροπεριβάλλοντα που ζει το φυτοπλαγκτό δεν είναι ούτε σταθερές ούτε ιδανικές για ένα είδος, με αποτέλεσμα τα πλεονεκτήματα που αποκτούνται από τον ανταγωνισμό να μεταβάλλονται γρήγορα από το ένα είδος στο άλλο, προτού το πιο

ανταγωνιστικό αντικαταστήσει το προηγούμενο από αυτό.

Η εποχιακή εμφάνιση, η πληθυσμιακή αύξηση και η αλλαγή των επικρατούντων ειδών στο φυτοπλαγκτό εξαρτώνται από ποικίλες επιδράσεις ανάμεσα στις διακυμάνσεις των περιβαλλοντικών παραγόντων και στις αποκρίσεις των ειδών. Οι κύριοι παράγοντες αύξησης είναι το φως, η θερμοκρασία, η ανάμειξη της στήλης, τα θρεπτικά, ενώ οι κύριοι παράγοντες απώλειών είναι ο ανταγωνισμός, η βόσκηση, η βύθιση, ο παρασιτισμός και η αλληλοπάθεια (Μουστάκα –Γούνη 1997).

Το φυτοπλαγκτό αντιπροσωπεύεται από οργανισμούς που συμπεριλαμβάνονται σε τρεις κατηγορίες μεγέθους του πλαγκτού - πικοπλαγκτό (picoplankton: 0.2 – 2 μm), νανοπλαγκτό (nanoplankton: 2 – 20 μm) και μικροπλαγκτό (microplankton: 20 – 200 μm)- ενώ είδη που σχηματίζουν μεγάλες αποικίες μπορεί να ανήκουν και στο μεσοπλαγκτό (mesoplankton: 200 – 2000 μm).

Οι φυτοπλαγκτικοί οργανισμοί, ως πρωτογενείς παραγωγοί σωματιδιακού υλικού, αποτελούν τη βάση των πελαγικών τροφικών πλεγμάτων τα οποία, σύμφωνα με τα τελευταία επιστημονικά δεδομένα, είναι περίπλοκα και ανταποκρίνονται περισσότερο στην πραγματικότητα από ότι οι συμβατικές τροφικές αλυσίδες. Η ανάδειξη της σημαντικής παρουσίας των πιο μικρών σε μέγεθος ειδών του πλαγκτού και συγκεκριμένα του πικοπλαγκτού (προκαρυωτικά κυανοβακτήρια, ευκαριωτικό φυτοπλαγκτό, ετερότροφα βακτήρια) στα πελαγικά τροφικά πλέγματα, αποτελεί μια καινοτομία στο χώρο της βιολογικής ωκεανογραφίας. Η αναγνώριση της παρουσίας τους και του ρόλου με τον οποίο συμμετέχουν στις τροφικές σχέσεις και στη ροή ενέργειας και υλικών έγινε πραγματικότητα με τη βοήθεια των τεχνολογικών εξελίξεων στις τεχνικές πρωτογενούς και δευτερογενούς επιφθορισμού, αφού αυτές επέτρεψαν τον προσδιορισμό της αφθονίας και βιομάζας τους. Ο ρόλος τους στα υδάτινα συστήματα έχει αρχίσει να γίνεται πλέον κατανοητός και σχετίζεται άμεσα με τη λειτουργία του μικροβιακού βρόχου (Azam, 1983).

Ο μικροβιακός βρόγχος αποτελεί ένα επιπλέον μονοπάτι στη ροή του άνθρακα στα πελαγικά τροφικά πλέγματα, εκτός από την παραδοσιακή συμβατική τροφική αλυσίδα (πρωτογενείς παραγωγοί – φυτοφάγα - σαρκοφάγα είδη). Στο μικροβιακό βρόγχο, το διαλυμένο οργανικό υλικό που απελευθερώνεται κυρίως από το φυτοπλαγκτό και σε μικρότερο βαθμό από τα ζώα, χρησιμοποιείται από τα βακτήρια, τα οποία μαζί με το πικοφυτοπλαγκτό καταναλώνονται από τα ετερότροφα μαστιγωτά. Τα μαστιγωτά καταναλώνονται από το μικροζωοπλαγκτό (βλεφαριδωτά πρωτόζωα), τα οποία φαίνεται ότι λειτουργούν ως συνδετικός κρίκος μεταξύ του

μικροβιακού βρόγχου και της συμβατικής τροφικής αλυσίδας.

Οι πικοπλαγκτικοί οργανισμοί απαντούν σε θαλασσινό, υφάλμυρο και γλυκό νερό. Το πικοφυτοπλαγκτό μπορεί να αποτελεί σημαντικό κομμάτι του συνολικού φυτοπλαγκτού. Σε oligότροφες περιοχές συμμετέχει με ποσοστό έως και 90 % στην φυτοπλαγκτική βιομάζα, ενώ στα παράκτια συστήματα το ποσοστό αυτό είναι συνήθως μικρότερο (< 30 %) (Stockner and Antia 1986).

Στο σύνολο των μελετών για το φυτοπλαγκτό στο Αιγαίο Πέλαγος απουσιάζουν δεδομένα που να αφορούν τον Στρυμονικό Κόλπο. Τα αποτελέσματα της παρούσας μελέτης αποτελούν μια πρώτη καταγραφή των χρονικών μεταβολών της αφθονίας του φυτοπλαγκτού και των κυανοβακτηρίων σε διαφορετικές περιοχές του κόλπου.

ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

Ο Στρυμονικός Κόλπος είναι ένας ημίκλειστος κόλπος που επικοινωνεί με το Βόρειο Αιγαίο Πέλαγος. Μέσα στον κόλπο εκβάλλουν οι Ποταμοί Στρυμόνας και Ρήχιος, ενώ μικρότεροι ή μεγαλύτεροι χείμμαροι και ρέματα συνεισφέρουν στην ποσότητα του γλυκού νερού που φθάνει τελικά στη θάλασσα.

Μηνιαίες δειγματοληψίες πραγματοποιήθηκαν σε τρεις παράκτιους σταθμούς στον Στρυμονικό Κόλπο (εκβολή ποταμού Στρυμόνα, Σταυρός, Ολυμπιάδα) (χάρτης 1), για το διάστημα Δεκέμβριος 1997 – Ιούνιος 1999, με σκοπό την ποιοτική και ποσοτική ανάλυση του φυτοπλαγκτού. Στην εκβολή του Στρυμόνα οι δειγματοληψίες πραγματοποιήθηκαν σε απόσταση ενός ναυτικού μιλίου από την εκβολή. Δείγματα νερού συλλέγονταν ανά 1 m σε όλη τη στήλη του νερού (βάθος 10 m). Τα επιφανειακά δείγματα μέχρι και τα 4 m βάθος αναμιγνύονταν σε ένα δείγμα (επιφανειακό δείγμα), ενώ τα υπόλοιπα δείγματα έως και τα 9 m βάθος, αναμιγνύονταν σε ένα δεύτερο δείγμα (δείγμα βάθους). Στον Σταυρό και στην Ολυμπιάδα, τα δείγματα συλλέγονταν από το επιφανειακό στρώμα νερού σε απόσταση 10 m από την ακτή (βάθος 0.5 m). Τα δείγματα στερεωνόνταν σε διάλυμα Lugol και σε διάλυμα φορμόλης. Η συλλογή των δειγμάτων έγινε με δειγματολήπτη τύπου Kemmerer, χωριτικότητας 1 l.

Δείγματα νερού συλλέχθηκαν και από τον Κόλπο της Ιερισσού, στο Στρατώνι, όπου πραγματοποιήθηκαν εποχικές δειγματοληψίες στα λιβάδια του φανερογάμου *Posidonia oceanica* (Ορφανίδης κ.α. 1999). Δείγματα νερού συλλέγονταν ανά 1 m σε όλη τη στήλη του νερού (βάθος 15 m). Τα επιφανειακά δείγματα μέχρι και τα 5 m

βάθος αναμιγνύονταν σε ένα δείγμα (επιφανειακό δείγμα), τα δείγματα μέχρι και τα 10 m βάθος αναμιγνύονταν σε ένα δεύτερο δείγμα (ενδιάμεσο δείγμα), και τα υπόλοιπα δείγματα έως τα 15 m βάθος αναμιγνύονταν σε ένα τρίτο δείγμα (δείγμα βάθους).

Ο προσδιορισμός της αφθονίας του φυτοπλαγκτού έγινε σε ανάστροφο μικροσκόπιο τύπου ZEISS, σύμφωνα με τη μέθοδο του ανάστροφου μικροσκοπίου (Utermöhl, 1958). Οι διαστάσεις των κυττάρων, για τον διαχωρισμό των οργανισμών στις διάφορες κατηγορίες μεγέθους, προσδιορίστηκαν με κατάλληλη μικρομετρική κλίμακα.

Κατά την πορεία της παρούσας μελέτης κρίθηκε σκόπιμο να προσδιοριστεί η αφθονία των πικοκυανοβακτηρίων. Ο πρώτος προσδιορισμός της αφθονίας τους πραγματοποιήθηκε το Νοέμβριο του 1998 και από τον Δεκέμβριο, η αφθονία τους στην εκβολή του Στρυμόνα προσδιορίστηκε σε κάθε μέτρο βάθους της στήλης νερού. Η αφθονία των κυανοβακτηρίων προσδιορίστηκε και σε δείγματα νερού από το Στρατώνι για τους μήνες Ιανουάριος 1999 και Μάιος 1999, στα συγκεκριμένα βάρη.

Η μεθοδολογία για την καταμέτρηση των κυανοβακτηρίων στηρίζεται στη χρήση τεχνικών πρωτογενούς φθορισμού. Τα κυανοβακτήρια, λόγω των φωτοσυνθετικών χρωστικών που φέρουν (φυκοβιλλιπρωτεΐνες), όταν διεγείρονται από πράσινο φως φθορίζουν πορτοκαλί. Αμέσως μετά τη δειγματοληψία, τα δείγματα νερού διηθήθηκαν σε ηθμούς μεμβράνης μαύρου χρώματος (Millipore) με διάμετρο πόρων 0.2 μm . Ο προσδιορισμός της αφθονίας τους πραγματοποιήθηκε σε μικροσκόπιο επιφθορισμού ZEISS IM 35 (BP 546, FT 580, LP 590, ZEISS filter set).

Η επεξεργασία των δειγμάτων του φυτοπλαγκτού και των κυανοβακτηρίων πραγματοποιήθηκε στο Εργαστήριο Βοτανικής του Τμήματος Βιολογίας, στο Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης.

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Στα δείγματα που εξετάστηκαν αναγνωρίστηκαν διάφορα είδη και γένη του φυτοπλαγκτού (Πιν. 1). Παρατηρήθηκαν επίσης και αρκετά είδη μικρομαστιγωτών, των οποίων η αναγνώριση σε επίπεδο γένους δεν ήταν δυνατή με τα μέσα που χρησιμοποιήθηκαν. Για την αναγνώριση των οργανισμών αυτών απαιτείται η χρήση ειδικών τεχνικών επεξεργασίας των δειγμάτων και εξέταση σε μικροσκόπιο σάρωσης.

Είδη του γλυκού νερού αναγνωρίστηκαν στην εκβολή του Στρυμόνα, ενώ

βενθικά είδη παρατηρήθηκαν σε όλους τους σταθμούς. Στην πλειονότητα των δειγμάτων που εξετάστηκαν τα είδη του φυτοπλαγκτού βρέθηκαν σε πολύ μικρή αφθονία και έτσι προσδιορίστηκε η συνολική πληθυσμιακή πυκνότητα των ατόμων σε κάθε δείγμα. Παράλληλα, παρατηρήθηκε ότι οι νανοπλαγκτικοί οργανισμοί, και ιδιαίτερα αυτοί με μέγεθος μικρότερο από 10 μm στη μεγαλύτερή τους διάσταση, επικρατούσαν σε αφθονία σε όλα τα δείγματα. Αρκετά από τα άτομα αυτά ήταν μαστιγωτά. Οι μεγαλύτεροι σε μέγεθος οργανισμοί ήταν σπάνιοι.

Πίνακας 1. Κατάλογος φυτοπλαγκτικών ειδών που αναγνωρίστηκαν στον Στρυμονικό Κόλπο

BACILLARIOPHYCEAE

Amphiphora hyperborea (GRUN) CLEVE & GRUNOW
Asterionelopsis glacialis (CASTRACANE) ROUND
Asteromphalus cf. *arache* (BRÈB.) RALFS
Chaetoceros affinis (LAUDER) GRAN
Chaetoceros danicus CLEVE
Chaetoceros decipiens CLEVE
Cerataulina pelagica (CLEVE) HENDY
Climacosphenia sp.
Cyclotella sp.
Grammatophora serpentina KUTZ
Guinardia delicatula (CLEVE) HASLE
Hemiaulus hauckii GRUN. IN V. HEURCK
Leptocylindrus danicus CLEVE
Leptocylindrus minimus GRAN
Lycophora lungbyei (KUTZ) GRUN
Nitzschia spp.
Proboscia alata (BRIGHTWELL) SUNDSTRÖM
Rhizosolenia setigera BRIGHTWELL
Rhizosolenia stouterforthii PERAG.
Skeletonema costatum (GREVILLE) CLEVE
Thalassionema sp.
Thalassiosira sp.
Thalassiothrix sp.

CHLOROPHYCEAE

Coleastrum sp.
Crucigenia sp.
Merismopedia sp.
Monoraphidium sp.
Pediasstrum biradiatum
Pediastrum simplex SCHMIDLE
Pediastrum tetras (EHRENBERG) RALFS
Katodinium glaucum ((LEBOUR) LOEBLICH
Preperidinium meunieri
Prorocentrum compressum (BAIL.) ABÈ EX DODGE
Prorocentrum dentatum
Protoperidinium diabolium (CLEVE) BALECH
Prorocentrum lima
Prorocentrum micans EHRENBERG
Prorocentrum minimum (PAVILLARD) SCHILLER
Prorocentrum scutellum
Protoperidinium sp.

EUGLENOPHYCEAE

Eutreptiella sp.
Trachelomonas sp.

HAPTOPHYCEAE

Chrysochromulina sp.

PRASINOPHYCEAE

Pyramimonas spp.

Pediasstrum sp.

Scenedesmus sp.

Staurodesmus sp.

Tetraedron sp.

CHRYSTOPHYCEAE

Calycomonas wulffii CONRAD & KUFFERATH

CRYPTOPHYCEAE

Plagioselmis sp.

Rhodomonas sp.

Teleaulax sp.

CYANOPHYCEAE

Microcystis sp.

Phormidium mucicola NAUMAN & HUBER -

PESTALOZZI

Synechococcus sp.

DICTYOPHYCEAE

Dictyocha fibula EHRENBERG

Dictyocha speculum EHRENBERG

DINOPHYCEAE

Amphidinium crassum LOHMANN

Ceratium furca (Ehrenberg) CLAP. & LACH.

Ceratium fusus (EHRENBERG) DUJARDIN

Ceratium lineatum (EHRENBERG) CLEVE

Dinophysis sp.

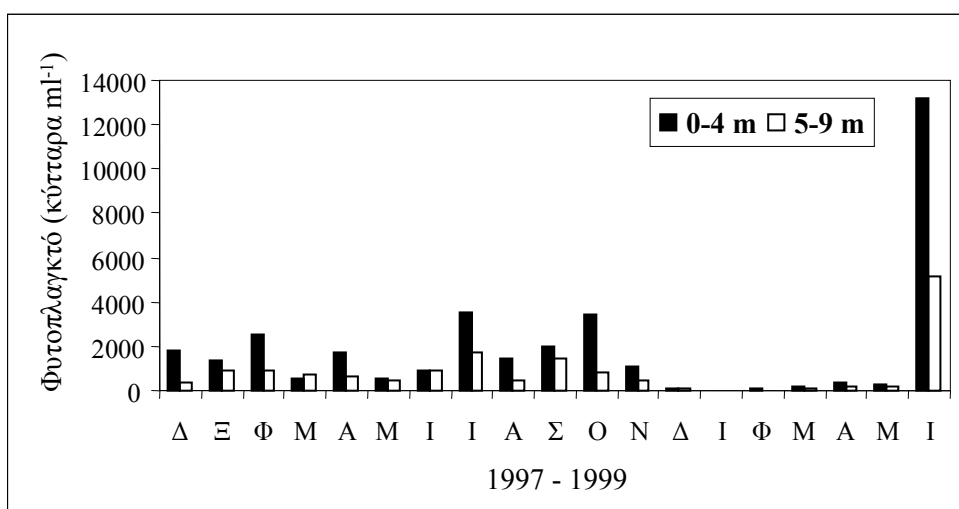
Gyrodinium spirale (BERGH) KOFOID & SWERY

Gymnodinium sp.

Παρακάτω παραθέτονται τα αποτελέσματα των μετρήσεων για κάθε σταθμό ξεχωριστά.

Εκβολή Ποταμού Στρυμόνα

Η αφθονία του φυτοπλαγκτού στην εκβολή του Στρυμόνα κυμάνθηκε μεταξύ 42 κύτταρα ml^{-1} (Φεβρουάριος 1999) και 13.217 κύτταρα ml^{-1} (Ιούνιος 1999). Οι υψηλότερες τιμές μετρήθηκαν στο ανώτερο επιφανειακό στρώμα νερού (Εικ. 1) και εκτός από τον Ιούνιο του 1999, οι οργανισμοί που επικρατούσαν ήταν μικρομαστιγωτά.



Εικόνα 1. Χρονικές μεταβολές της αφθονίας του φυτοπλαγκτού στα διαφορετικά βάθη της εκβολής του Στρυμόνα, για το χρονικό διάστημα Δεκέμβριος 1997 – Ιούνιος 1999.

Οι χρονικές μεταβολές της αφθονίας δεν φαίνεται να ακολουθούν κάποιο συγκεκριμένο χρονικό πρότυπο κατανομής. Υψηλές σχετικά τιμές αφθονίας στο επιφανειακό στρώμα νερού παρατηρήθηκαν τον Φεβρουάριο (2.565 κύτταρα ml^{-1}), τον Ιούλιο (3.489 κύτταρα ml^{-1}) και τον Οκτώβριο (3.409 κύτταρα ml^{-1}) 1998. Οι οργανισμοί που αφθονούσαν τον Φεβρουάριο ήταν μικρά σε μέγεθος μαστιγωτά, μεταξύ των οποίων συμπεριλαμβάνονταν Κρυπτοφύκη και Απτοφύκη. Τον Ιούλιο, παρατηρήθηκαν σε σχετική αφθονία μικρού μεγέθους είδη Χλωροφυκών και κύτταρα που φαίνεται να προήλθαν από αποδιοργανωμένες αποικίες Κυανοβακτηρίων. Το υλικό του Οκτωβρίου περιείχε πολλά σκουπίδια και υλικό σε αποσύνθεση. Η υψηλή σχετικά αφθονία προήλθε κατά 50 % από αποικίες του Κυανοφύκου *Microcystis* sp. Η μέγιστη αφθονία που καταμετρήθηκε τον Ιούνιο 1999 (13.217 και 5.139 κύτταρα ml^{-1} , στο

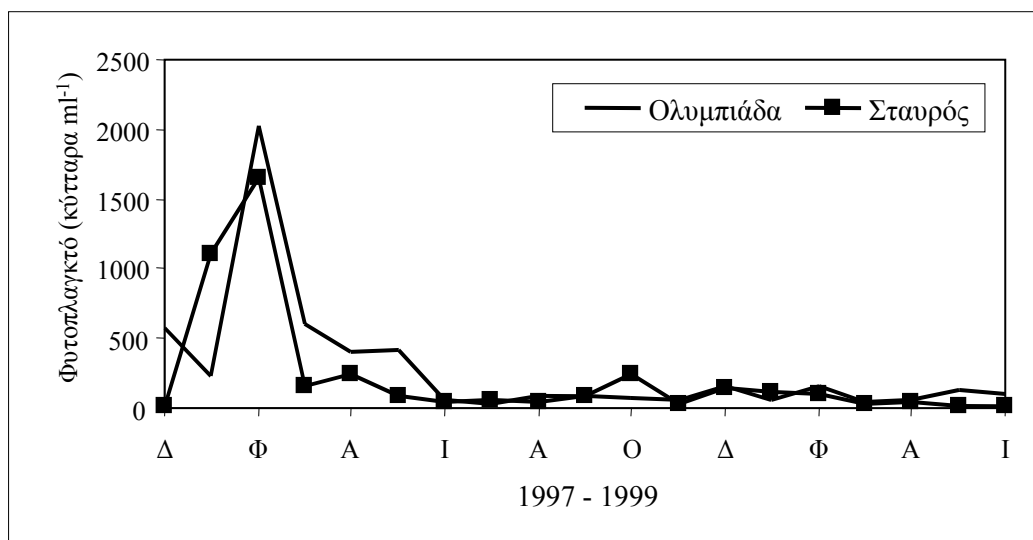
επιφανειακό δείγμα και στο δείγμα βάθους, αντίστοιχα) προήλθε από τις υψηλές πληθυσμιακές πυκνότητες τριών αποικιακών ειδών χλωροφυκών. Η παρατήρηση δειγμάτων από κάθε μέτρο βάθους στο μικροσκόπιο έδειξε υψηλή αφθονία μόνο στα πρώτα 2 m βάθους. Σε μεγαλύτερα βάθη παρατηρήθηκαν μόνο μεμονωμένα κοκκοειδή κύτταρα που φαίνεται να προήλθαν από αποδιοργανωμένες αποικίες.

Η υψηλή αφθονία των Χλωροφυκών το μήνα αυτό προκάλεσε έντονο χρωματισμό του επιφανειακού στρώματος νερού στην εκβολή του ποταμού. Το φαινόμενο ήταν εμφανές και τον Αύγουστο, όταν σε έκτακτη δειγματοληψία που πραγματοποιήθηκε επιβεβαιώθηκε η παρουσία των ίδιων αποικιών σε μια μεγάλη έκταση που κάλυπτε τα νερά του ποταμού πλησίον της εκβολής και όλη την θαλάσσια περιοχή, από την εκβολή του Στρυμόνα μέχρι τουλάχιστον και την παραλία της Ασπροβάλτας. Ο χρωματισμός του νερού και η παρουσία συσσωματωμάτων που επέπλεαν προκάλεσαν την ανησυχία τόσο των λουομένων όσο και της τοπικής αυτοδιοίκησης, οι οποίοι θορυβήθηκαν τόσο για τη χωρική έκταση του φαινομένου όσο και για τη χρονική του διάρκεια.

Οι οργανισμοί αυτοί φαίνεται ότι κάτω από τις κατάλληλες συνθήκες αυξήθηκαν, φθάνοντας μεγάλες τιμές αφθονίας στα νερά του ποταμού (πληθυσμιακή έκρηξη). Η μεταφορά τους με τα νερά του Στρυμόνα προκάλεσε την εξάπλωσή τους στην ευρύτερη περιοχή και η παρατεταμένη άπνοια την περίοδο αυτή ενδεχομένως να ευνόησε την παραμονή τους στο επιφανειακό στρώμα νερού για μεγάλο χρονικό διάστημα. Τα Χλωροφύκη έχειδειχθεί ότι παρουσιάζουν σχετικά υψηλές τιμές βιομάζας στα νερά του ποταμού το καλοκαίρι (Tryfon et al., 1996).

Σταυρός – Ολυμπιάδα

Η αφθονία του φυτοπλαγκτού στον Σταυρό κυμάνθηκε από 10 έως 1.658 κύτταρα ml^{-1} (Δεκέμβριος 1997 και Φεβρουάριος 1998, αντίστοιχα). Στην Ολυμπιάδα κυμάνθηκε από 30 έως 2.025 κύτταρα ml^{-1} (Ιούλιος και Φεβρουάριος 1998, αντίστοιχα) (Εικ. 2). Σε όλα τα δείγματα οι οργανισμοί που επικρατούσαν ήταν μικρομαστιγωτά. Τον Φεβρουάριο 1998, όταν παρατηρήθηκε το μέγιστο της αφθονίας και στους δυο σταθμούς, μεταξύ των μαστιγωτών συμπεριλαμβάνονταν και μικρού μεγέθους είδη Κρυπτοφυκών.



Εικόνα 2. Χρονικές μεταβολές της αφθονίας του φυτοπλαγκτού στον Σταυρό και την Ολυμπιάδα, για το χρονικό διάστημα Δεκέμβριος 1997 – Ιούνιος 1999.

Στρατώνι

Η αφθονία του φυτοπλαγκτού στο Στρατώνι δίνεται στον Πίνακα 2. Τα είδη που επικρατούσαν ήταν μικρού μεγέθους οργανισμοί και κυρίως μαστιγωτά.

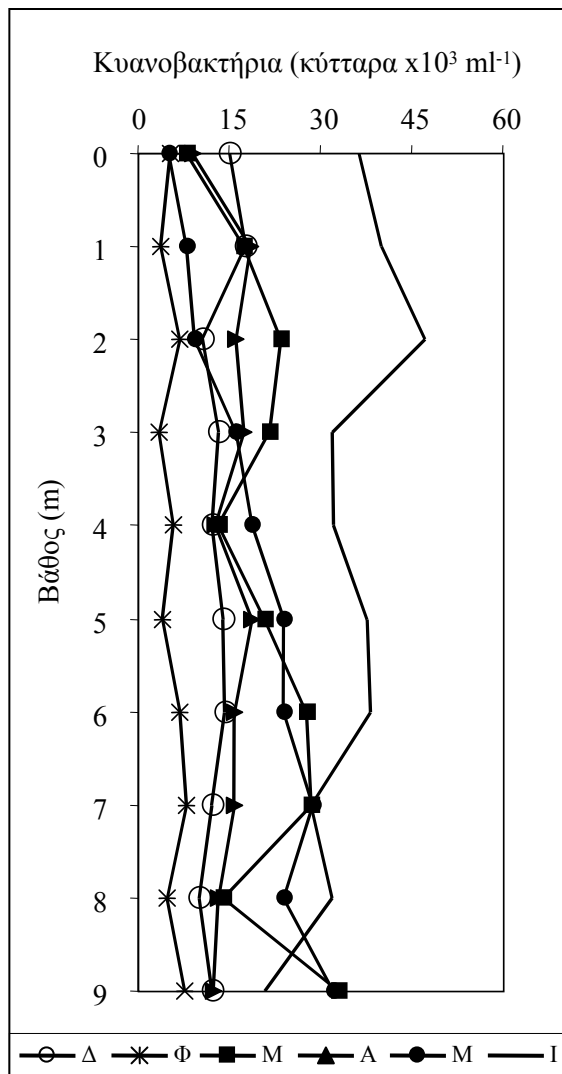
Πίνακας 2. Αφθονία φυτοπλαγκτού (κύτταρα ml^{-1}) σε διαφορετικά βάθη στο Στρατώνι, το χειμώνα, την άνοιξη, το καλοκαίρι και το φθινόπωρο 1998 και το χειμώνα και την άνοιξη 1999.

Βάθος	Χειμώνας 98	Άνοιξη 98	Καλοκαίρι 98	Φθινόπωρο 98	Χειμώνας 99	Άνοιξη 99
0-5 m	90	270	236	240	162	437
5-10 m	66	370	69	50	87	218
10-15 m	-	72	33	15	60	119

Πικοκυανοβακτήρια

Τα κυανοβακτήρια αναγνωρίστηκαν από το σφαιρικό σχήμα των κυτάρων τους, τις πολύ μικρές διαστάσεις τους (περίπου 1 μm) και το χρώμα που εμφάνισαν στο υπεριώδες φως. Σε όλα τα δείγματα παρατηρήθηκαν πλούσια σε φυκοερυθρίνη κυανοβακτήρια, πορτοκαλί χρώματος (τύπος I). Στην εκβολή του Στρυμόνα, παρατηρήθηκαν και πλούσια σε φυκοκυανίνη κυανοβακτήρια κόκκινου χρώματος (τύπος II).

Στην εκβολή του Στρυμόνα, η αφθονία των κυανοβακτηρίων τύπου I κυμάνθηκε



μεταξύ 3.5 και 47×10^3 κύτταρα ml^{-1} (Φεβρουάριος και Ιούνιος 1999, αντίστοιχα). Οι υψηλότερες τιμές αφθονίας μετρήθηκαν κυρίως σε μεγαλύτερα βάθη (Εικόνα 3). Τους μήνες Μάρτιο έως και Ιούνιο 1999, στο ανώτερο επιφανειακό στρώμα νερού (έως 1 m βάθος) παρατηρήθηκαν και κυανοβακτήρια τύπου II, τα οποία βρέθηκαν σε μεγαλύτερη αφθονία από τα κυανοβακτήρια τύπου I, εκτός από τον μήνα Ιούνιο (Πίνακας 3). Η μεγαλύτερη τιμή αφθονίας μετρήθηκε τον Μάιο (26×10^3 κύτταρα ml^{-1}) και η μικρότερη τον Ιούνιο (5.6×10^3 κύτταρα ml^{-1}).

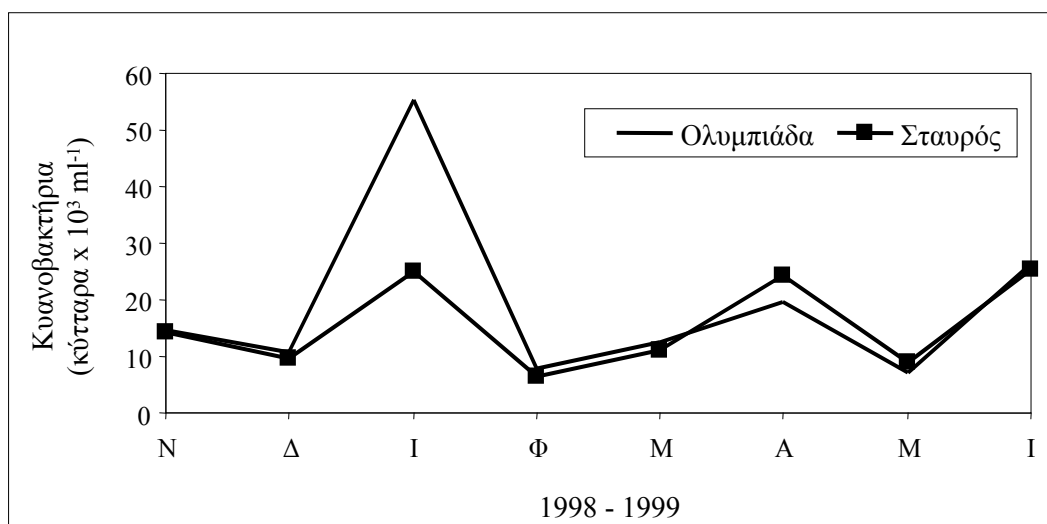
Στον Σταυρό και την Ολυμπιάδα, τα κυανοβακτήρια που παρατηρήθηκαν ήταν τύπου I. Η αφθονία τους στον Σταυρό κυμάνθηκε μεταξύ 6×10^3 και 25×10^3 κύτταρα ml^{-1} (Φεβρουάριος και Ιανουάριος 1999, αντίστοιχα) και στην

Εικόνα 3. Χρονική και κατακόρυφη κατανομή της αφθονίας των κυανοβακτηρίων στην εκβολή του Στρυμόνα, για το χρονικό διάστημα Δεκέμβριος 1998 - Ιούνιος 1999, εκτός Ιανουαρίου.

Ολυμπιάδα μεταξύ 7×10^3 και 55×10^3 κύτταρα ml^{-1} (Μάιος και Ιούνιος 1999, αντίστοιχα). Οι χρονικές μεταβολές της αφθονίας των κυανοβακτηρίων ήταν παρόμοιες και στους δυο σταθμούς (Εικ. 4).

Πίνακας 3. Αφθονία κυανοβακτηρίων τύπου I και τύπου II στο επιφανειακό στρώμα νερού (έως 1m βάθος) στην εκβολή του Στρυμόνα, για την περίοδο Μάρτιος - Ιούνιος 1999 (κύτταρα ml^{-1}).

Βάθος (m)	Μάρτιος		Απρίλιος		Μάιος		Ιούνιος	
	Τύπος I	Τύπος II	Τύπος I	Τύπος II	Τύπος I	Τύπος II	Τύπος I	Τύπος II
0	7978	12921	8980	15490	4939	26190	36248	5657
1	17482	12964	18487	1571	7857	5205	40109	0



Εικόνα 4. Χρονικές μεταβολές της αφθονίας των κυανοβακτηρίων στον Σταυρό και την Ολυμπιάδα, για το χρονικό διάστημα Νοέμβριος 1998 – Ιούνιος 1999.

Στο Στρατώνι, η αφθονία των κυανοβακτηρίων προσδιορίστηκε για τους μήνες Ιανουάριος και Μάιος 1999 (Πίνακας 4).

Πίνακας 4. Αφθονία κυανοβακτηρίων (κύτταρα ml⁻¹) σε διαφορετικά βάθη στο Στρατώνι, τους μήνες Ιανουάριος και Μάιος 1999.

Βάθος	I 99	Βάθος	M 99
0-1 m	49.971	0-5 m	12.143
1-2 m	44.387	5-10 m	9.114
2-3 m	48.490	10-15 m	19.703
3-4 m	55.543		

ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Η Ανατολική Μεσόγειος ως ολιγότροφη θάλασσα χαρακτηρίζεται από χαμηλές συγκεντρώσεις θρεπτικών αλάτων και χλωροφύλλης α και από χαμηλές τιμές πρωτογενούς παραγωγικότητας και φυτοπλαγκτικής αφθονίας (Berman et al., 1984, Azon 1986, Krom et al. 1991). Τα παραπάνω ισχύουν και για το ανοιχτό Αιγαίο Πέλαγος καθώς μελέτες που έχουν πραγματοποιηθεί έχουν επιβεβαιώσει τον ολιγοτροφικό χαρακτήρα του (Stergiou et al. 1997). Ωστόσο, φαινόμενα ευτροφισμού παρατηρούνται σε κλειστούς κόλπους των Ελληνικών ακτών και οφείλονται κυρίως στην ελεύθερη απόρριψη ανεπεξέργαστων βιομηχανικών αποβλήτων, οικιακών λυμμάτων και γεωργικών φαρμάκων στο υδάτινο μέσο (Pagou, 1990, Nikolaides and Moustaka – Gouni 1992).

Στον Στρυμονικό Κόλπο, οι μέγιστες τιμές αφθονίας του φυτοπλαγκτού βρέθηκαν υψηλότερες από αυτές που έχουν αναφερθεί σε ολιγότροφες περιοχές του Αιγαίου (Θρακικό Πέλαγος, Ανατολικό Αιγαίο, Κυκλάδες, Δωδεκάνησα) του Κρητικού και του Ιονίου Πελάγους, αλλά συγκρίσιμες με αυτές σε εύτροφους κόλπους των ελληνικών ακτών, όπου το μεγαλύτερο ποσοστό της αφθονίας προέρχεται από είδη με μεγαλύτερο μέγεθος από αυτά που επικρατούσαν στον Στρυμονικό Κόλπο (Stergiou et al., 1997, Pitta, et al., 1998). Το φυτοπλαγκτό στον Στρυμονικό Κόλπο αποτελούνταν κυρίως από μικρού μεγέθους οργανισμούς (μεγαλύτερη διάσταση < από 10 μm) κυρίως μικρομαστιγωτά, ενώ τα μεγαλύτερα σε μέγεθος είδη ήταν σπάνια. Μικρού μεγέθους οργανισμοί επικρατούσαν και στην εκβολή του Στρυμόνα, όπου οι ιδιαίτερα υψηλές τιμές αφθονίας προήλθαν από είδη του γλυκού νερού που μεταφέρθηκαν εκεί με τα

νερά του ποταμού.

Τα πικοκυανοβακτήρια βρέθηκαν σε υψηλές πληθυσμιακές πυκνότητες. Στην εκβολή του Στρυμόνα, η αφθονία των κυανοβακτηρίων τύπου I ήταν χαμηλότερη στο πρώτο δείγμα βάθους (0 m) από ότι στα υποκείμενα βάθη και αυτό φαίνεται να σχετίζεται με τις χαμηλότερες τιμές αλατότητας που μετρήθηκαν στο ανώτερο επιφανειακό στρώμα νερού καθώς το αλόκλινο δημιουργείται σε πολύ μικρό βάθος (0 - 2 m) (Σταμάτης και Ιωαννίδου, βλ. αντίστοιχο κεφάλαιο της παρούσας έκδοσης). Την άνοιξη του 1999, όταν μετρήθηκαν ιδιαίτερα χαμηλές τιμές αλατότητας στο ανώτερο επιφανειακό στρώμα νερού (Σταμάτης και Ιωαννίδου, 1999) τα κυανοβακτήρια τύπου II επικράτησαν έναντι αυτών του τύπου I. Τον Ιούνιο 1999, όταν η τιμή της επιφανειακής αλατότητας αυξήθηκε (23 ‰, από Σταμάτης και Ιωαννίδου, βλ. αντίστοιχο κεφάλαιο της παρούσας έκδοσης), ο αριθμός των κυανοβακτηρίων τύπου II μειώθηκε κατά μια τάξη μεγέθους. Σε εκβολικά συστήματα της εύκρατης ζώνης έχει δειχθεί ότι τα κυανοβακτήρια τύπου II επικρατούν έναντι αυτών του τύπου I όταν η αλατότητα είναι μικρότερη από 24‰ (Tamigneaux et al. 1995).

Γενικά, η άφθονη σχετικά παρουσία μικρών σε μέγεθος ειδών στο φυτοπλαγκτό του Στρυμονικού Κόλπου (πικο – και νανοπλαγκτό) φαίνεται να σχετίζεται με τις ιδιαίτερες συνθήκες του θαλάσσιου περιβάλλοντος. Η περιοχή μελέτης, σύμφωνα με τις συγκεντρώσεις των θρεπτικών αλάτων, χαρακτηρίζεται ολιγότροφη έως μεσότροφη, εκτός από τα νερά στην εκβολή του Στρυμόνα, τα οποία χαρακτηρίζονται ως εύτροφα (Σταμάτης και Ιωαννίδου, 1999). Ο μεγάλος λόγος επιφάνειας προς όγκο των μικρότερων σε μέγεθος οργανισμών (πικοπλαγκτό και νανοπλαγκτό) έχει σαν αποτέλεσμα να είναι αυτοί καλύτεροι ανταγωνιστές για θρεπτικά, όταν αυτά βρίσκονται σε χαμηλές συγκεντρώσεις (Andersson et al., 1994). Στην εκβολή του Στρυμόνα, τα μέγιστα της αφθονίας προέρονται από είδη του γλυκού νερού τα οποία κάτω από κατάλληλες συνθήκες δημιουργούν φαινόμενα πληθυσμιακών εκρήξεων στα νερά του ποταμού. Οι υψηλές πληθυσμιακές πυκνότητες διατηρούνται στα επιφανειακά υφάλμυρα νερά της εκβολής για μεγάλα χρονικά διαστήματα, ανάλογα με τις συνθήκες. Η μεταφορά των οργανισμών αυτών με τα νερά του ποταμού στα επιφανειακά στρώματα νερού των δυτικών ακτών του κόλπου και η διατήρηση της υψηλής αφθονίας, τους μπορεί να δημιουργήσει έντονα προβλήματα στην αισθητική και οικονομία των παράκτιων οικισμών.



Χάρτης 1. Περιοχή μελέτης με τα σημεία δειγματοληψίας (■)

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Andersson, A., Haecky, P. & Hagström, E., 1994. Effect of temperature and light on the growth of micro – nanno and pico – plankton; impact on algal succession. *Mar. Biol.* 120: 511 – 520.
- Azam, F., Fenchel, T., Field, J. G., Gray, J. S., Meyer – Reil, L. A., Thingstad, F. 1983. The ecological role of water – column microbes in the sea. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 10: 257 – 263.
- Azov Y (1986) Seasonal patterns of phytoplankton productivity and abundance in nearshore oligotrophic waters of the Levant Basin (Mediterranean). *J. Plankton Res.* 8: 41-53
- Berman, T., Townsend, D. W., El Sayed, S. Z., Trees, C. C. & Azov, Y., 1984. Optical transparency, chlorophyll and primary productivity in the Eastern mediterranean near the Israeli coast. *Oceanologica Acta*, 7 (3): 367 – 372.
- Krom MD, Kress N, Brenner S, Gordon LI (1991) Phosphorus limitation of primary productivity in the eastern Mediterranean Sea. *Limnol Oceanogr* 36: 424-432
- Μουστάκα – Γούνη, Μ. 1997. Ωκεανογραφία. Μια Βιολογική Προσέγγιση. Εκδ. EXIN. Θεσσαλονίκη.
- Nikolaides, G., Moustaka – Gouni, M. 1992. Nutrient distribution and eutrophication effects in a polluted coastal area of Thermaikos Gulf, Macedonia, Greece. *Fresenius Envir. Bull.* 1 ;250 – 255.
- Pagou, K., 1990. Eutrophication – related phenomena in the Adriatic Sea and in other mediterranean coastal zones. *Water Pollution Research Report* 16. In H. Barth and L. Fegan (Eds) EUR 12978. pp. 97 – 114.
- Pitta, P. Tsapakis, M., Zivanovic, S & Karakassis, I. 1998. Seasonal variability of water column Biogeochemistry in three coastal areas in the Ionian and Aegean Seas. *Rapp. Comm. Int. Mer Médit.*, 35:284 – 285.
- Stergiou, K. I., Christou, E. D., Georgopoylos, D., Zenetos, A. & Souvermezoglou, C., 1997. The Hellenic Seas: physics, chemistry, biology and fisheries. *Oceanography and Marine Biology: an annual review*, 35, 415 – 538.
- Stockner JG, Antia NJ (1986) Algal picoplankton from marine and freshwater ecosystems: a multidisciplinary perspective. *Can J Fish Aquat Sci* 43:2472-2503.
- Tamigneaux, E., Vazquez E., Mingelbier M., Klein B., Legendre L. 1995.

Environmental control of phytoplankton assemblages in nearshore marine waters, with special emphasis on phototrophic ultraplankton. *J. Plankton Res.* 17: 1421-1447.

Tryfon, E., Moustaka – Gouni, M. & Nikolaidis, G., 1996. Phytoplankton and nutrients in the river Strymon, Greece. *Int. Revue ges. Hydrobiol.* 81 (2): 281 – 282.

FIGURE LEGENDS

Figure 1. Temporal distribution of phytoplankton abundance at different depths in the estuary of river Strymon, for the period December 1997 – June 1999.

Figure 2. Temporal distribution of phytoplankton abundance in Stavros and in Olympiada, for the period December 1997 – June 1999.

Figure 3. Depth – time distribution of picocyanobacteria abundance at different depths in the estuary of river Strymon.

Figure 4. Temporal distribution of picocyanobacteria abundance in Stavros and in Olympiada for the period November 1998 – June 1999.

TABLE LEGENDS

Table 1. List of phytoplankton species in Strymonikos Gulf.

Table 2. Phytoplankton abundance (cells ml⁻¹) at different depths in Stratoni, in winter, spring, summer and autumn of 1998 and in winter and spring of 1999.

Table 3. Picocyanobacteria abundance (phycoerythrin forms and phycocyanin forms) in the surface water (up to 1m depth) in the estuary of river Strymon, for the period March - June 1999 (cells ml⁻¹).

Table 4. Picocyanobacteria abundance (cells ml⁻¹) at different depths in Stratoni, for January and May 1999.

MAP LEGENDS

Map 1. Map of the study area showing the sampling stations (■).

ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗ ΤΗΣ *POSIDONIA OCEANICA* (L.) DELILE ΣΤΟΝ ΣΤΡΥΜΟΝΙΚΟ ΚΟΛΠΟ

Ορφανίδης, Σ., Τσιάγγα, Ε., Λαζαρίδου, Ε.

Monitoring of Posidonia oceanica (L.) Delile in the Gulf of Strymonikos: The phenological characteristics and primary production of two Posidonia oceanica (L.) Delile meadows were studied in two stations of Strymonikos Gulf, one close to the city Olympiada (St.1) and the other close to the city Stratoni (St.2). Collections have been done seasonally, during winter 1998 - spring 1999, by scuba diving at 15 m depth. Temperature, salinity and photosynthetic active radiation (PAR) were measured in water column. The mean shoot density was 442,1 shoot/m² in St. 2 and 328 shoot/m² in St. 1. The mean leaf area index was 9,18 m²/m² in St. 2 and 4,734 m²/m² in St. 1. The mean photosynthetic biomass was 384,5 g dw/m² in St. 2 and 195,4 g dw/m² in St. 1. The mean total biomass was 1742,8 g dw/m² in St. 2 and 1199,97 g dw/m² in St. 1. The mean number of leaves produced per year during 1991-1997 (lepidochronological years) was 6,33 leaves/year in St. 2 and 6,22 leaves/year in St. 1. These results have been used to make an ecological statement of the meadows in the studied area.

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η *Posidonia oceanica* (L.) Delile είναι το σημαντικότερο φανερόγαμο της Μεσογείου, όπου και σχηματίζει λιβάδια υψηλής παραγωγικότητας (Panayiotidis, 1980; Pergent & Pergent-Martini, 1991) που παρέχουν θώκο και πηγές στα θαλάσσια σπονδυλωτά και ασπόνδυλα (Orth & Moore, 1983). Η πρωτογενής παραγωγή των λιβαδιών ακολουθεί καθορισμένες εποχικές και χωρικές μεταβολές εξαιτίας της ακτινοβολίας, της θερμοκρασίας και των θρεπτικών αλάτων (Alcoverro et al., 1995). Συνέπεια της οικολογίας και της οικονομικής τους σπουδαιότητας τα λιβάδια της *P. oceanica* προστατεύονται από την Ε.Κ. και χρησιμοποιούνται ως βιοδείκτες της οικολογικής ποιότητας του θαλασσίου περιβάλλοντος (Boudouresque et al., 1991).

Πολλές παρατηρήσεις των τελευταίων δεκαετιών δείχνουν ότι τα λιβάδια της *Posidonia* υποχωρούν σε πολλές ακτές της Μεσογείου εξαιτίας της φυσικής (ισχυρές θύελλες, αύξηση της θερμοκρασίας), ή/και της ανθρωπογενούς διαταραχής (κατασκευές κατά μήκος της ακτογραμμής, αλιεία με μηχανότρατες, ευτροφισμός) (Bourcier, 1989).

Στην παρούσα εργασία μελετήθηκαν τα φαινολογικά χαρακτηριστικά και η πρωτογενής παραγωγή δύο λιβαδιών της *Posidonia oceanica* με σκοπό να εκτιμηθούν πιθανές φυσικές ή/και ανθρωπογενείς επιπτώσεις στο φυσικό περιβάλλον του Στρυμονικού Κόλπου. Επίσης, χρησιμοποιώντας τη μέθοδο της λεπιδοχρονολόγησης εκτιμήθηκε η παραγωγικότητα του λιβαδιού σε φύλλα ανά έτος λεπιδοχρονολόγησης.

ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

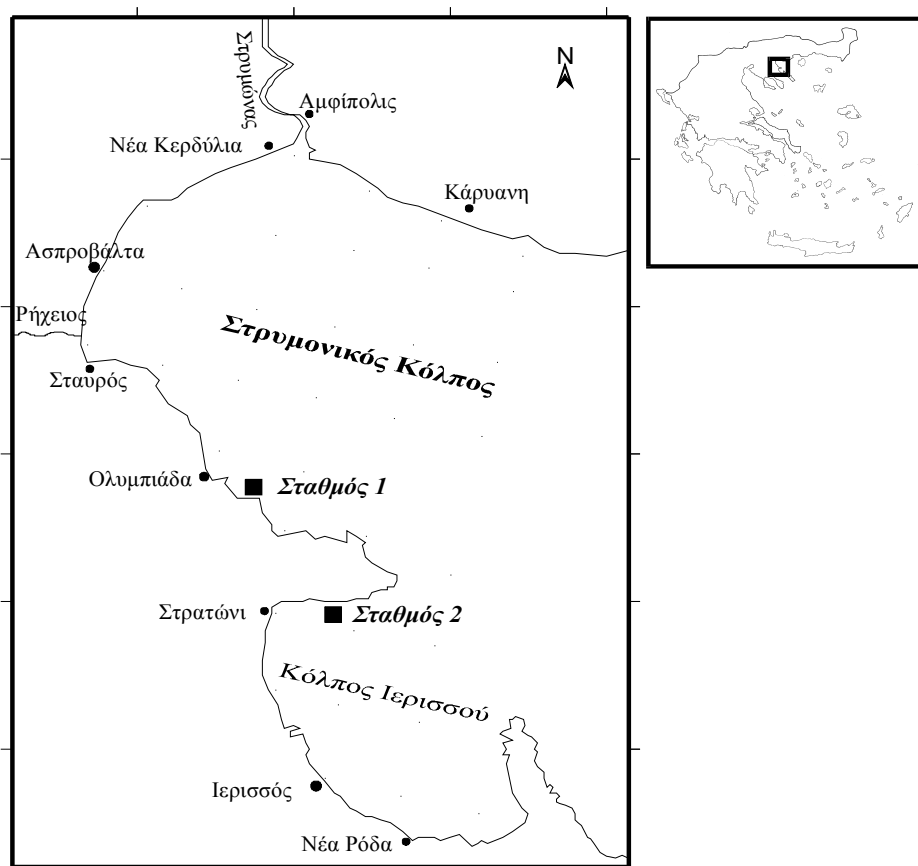
Για τη μελέτη της δυναμικής των λιβαδιών του φανερόγαμου *Posidonia oceanica* στο Στρυμονικό Κόλπο επιλέχθηκαν δύο σταθμοί σε βάθος 15 μέτρων (Εικόνα 1): (α) Στην περιοχή της Ολυμπιάδας (Σταθμός 1) και (β) στον Κόλπο της Ιερισσού, στην περιοχή του Στρατωνίου (Σταθμός 2). Συνολικά, σε κάθε σταθμό πραγματοποιήθηκαν έξι εποχικές δειγματοληψίες, με αυτόνομη κατάδυση, στο χρονικό διάστημα φθινόπωρο 1998 – άνοιξη 1999.

Σε κάθε δειγματοληψία, σε ολόκληρη τη στήλη του νερού, μετρήθηκε η θερμοκρασία, η αλατότητα και η φωτοσυνθετικά ενεργή ακτινοβολία (PAR). Σε κάθε δειγματοληψία από πέντε πλαίσια επιφάνειας 0,0625 m² το καθένα, τα οποία τοποθετήθηκαν τυχαία στους δύο σταθμούς, συλλέχθηκαν όλα τα κάθετα-οριζόντια ριζώματα και οι ρίζες των φυτών. Το φυτικό υλικό, μετά τη συλλογή, τοποθετούνταν σε δοχεία 30 L που περιείχαν θαλασσίνο νερό και μεταφέρονταν στο εργαστήριο. Στο εργαστήριο πραγματοποιούνταν οι παρακάτω μετρήσεις-υπολογισμοί:

1. *Πυκνότητα*: Η πυκνότητα του λιβαδιού (άτομα/m²) υπολογίστηκε από τον αριθμό των κάθετων ριζωμάτων με φύλλα σε κάθε πλαίσιο (Ott 1980).
2. *Φαινολογική ανάλυση*: Η φαινολογική ανάλυση σε κάθε σταθμό πραγματοποιήθηκε σε δέκα τυχαία άτομα από κάθε πλαίσιο. Ο αριθμός αυτός θεωρείται ικανοποιητικός ώστε τα αποτελέσματα που θα προκύψουν να είναι στατιστικά σημαντικά (Alcoverro et al., 1995; Zupo et al., 1997). Σε κάθε άτομο μετρήθηκε το μήκος και πλάτος (τρεις τιμές κατά μήκος του φύλλου) του φωτοσυνθετικού τμήματος των φύλλων (Ott 1980). Από τις παραπάνω μετρήσεις προσδιορίστηκε ο δείκτης της φυλλικής επιφάνειας, πολλαπλασιάζοντας το μήκος επί το μέσο πλάτος των φύλλων. Ο δείκτης φυλλικής επιφάνειας υπολογίστηκε ως το εμβαδό της φυλλικής επιφάνειας ανά άτομο (cm²/άτομο) και ως το εμβαδό της φυλλικής επιφάνειας ανά m² (m²/m²) (Bulthuis 1990).
3. *Βιομάζα*: Για την εκτίμηση της βιομάζας, χρησιμοποιήθηκε το νωπό υλικό των τεσσάρων πλαισίων (Downing & Anderson 1985). Το υλικό αυτό χωρίστηκε καταρχήν σε ζωντανά και νεκρά τμήματα και στη συνέχεια σε φύλλα, μίσχους φύλλων, κάθετα και οριζόντια ριζώματα και σε ρίζες (Ott 1990). Τα επίφυτα και τα επίζωα απομακρύνθηκαν από το υλικό με τη χρήση φωσφορικού οξέος (5%) και λεπίδας ξυραφιού (Fonseca et al. 1990). Για την εκτίμηση της ξηρής βιομάζας το ζωντανό υλικό τοποθετήθηκε σε κλίβανο θερμοκρασίας 60°C μέχρι σταθερού βάρους. Υπολογίστηκε η φωτοσυνθετική βιομάζα (dw g/m²) και η ολική ζωντανή βιομάζα (dw g/m²) των δύο σταθμών.

4. *Λεπιδοχρονολόγηση*: Για τη λεπιδοχρονολογική ανάλυση των λιβαδιών των δύο σταθμών, το καλοκαίρι του 1997, συλλέχτηκαν τυχαία 40 περίπου άτομα από κάθε σταθμό. Η λεπιδοχρονολογική ανάλυση έγινε σε 20 άτομα από κάθε σταθμό και προσδιορίστηκε ο μέσος αριθμός των φύλλων που αναπτύσσεται ανά άτομο και έτος λεπιδοχρονολόγησης (Pergent, 1987; Pergent, 1990).

Η εξέταση των στατιστικά σημαντικών διαφορών στα δεδομένα έγινε με τη χρήση ANOVA (Zar 1984). Όλοι οι υπολογισμοί έγιναν με το πρόγραμμα Excel 7.0. και οι στατιστικές αναλύσεις με το STATISTICA 5.0.



Εικόνα 1. Χάρτης της περιοχής μελέτης.

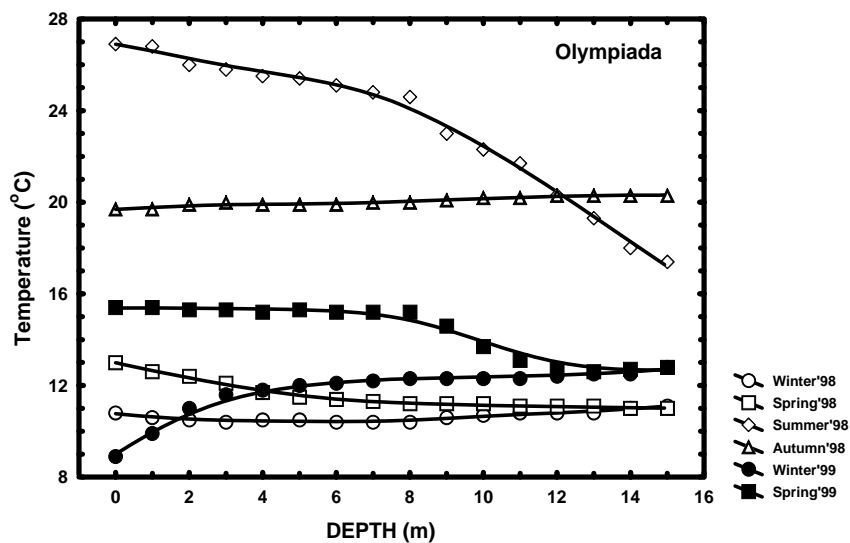
ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

A. Αβιοτικοί παράμετροι στο Σταθμό 1 (Ολυμπιάδα)

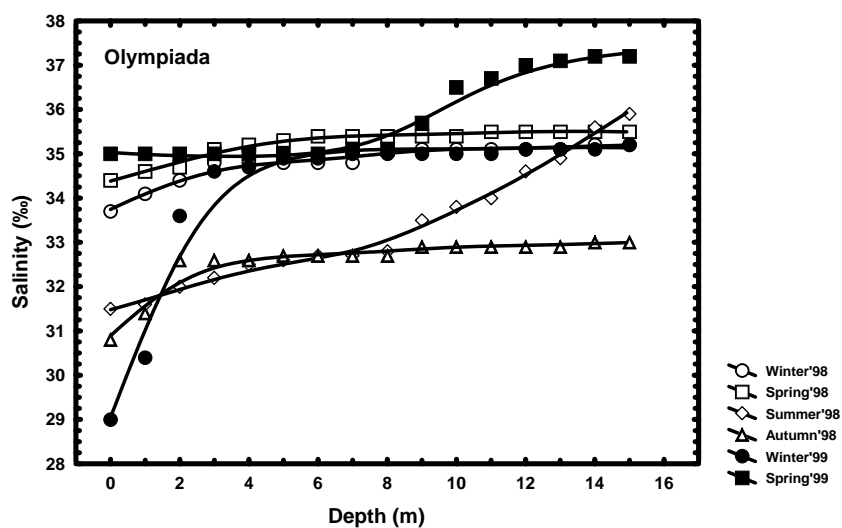
Η εποχική διακύμανση της θερμοκρασίας στη στήλη του νερού, για το χρονικό διάστημα της μελέτης, στο Σταθμό 1 (Ολυμπιάδα) φαίνεται στην Εικόνα 2. Σημειώνεται ότι όσο αφορά την επιφάνεια και για το χρονικό διάστημα της μελέτης, οι τιμές της θερμοκρασίας κυμάνθηκαν από 8,9 °C το χειμώνα του 1999 μέχρι 26,9 °C το καλοκαίρι του 1998. Σε βάθος 15 m η χαμηλότερη τιμή μετρήθηκε το χειμώνα και την άνοιξη 1998 (11,1 °C), ενώ η υψηλότερη το φθινόπωρο 1998 (20,3 °C). Το καλοκαίρι του 1998 και την άνοιξη του 1999 παρατηρείται μια έντονη μείωση της θερμοκρασίας, από τα 8 m μέχρι τα 15 m, που οφείλεται στη στρωμάτωση της στήλης του νερού. Το αντίθετο φαινόμενο συμβαίνει το χειμώνα του 1999, όπου οι χαμηλές θερμοκρασίες της επιφάνειας αντικαθίστανται σταδιακά στα 4 m με υψηλότερες τιμές.

Η μεταβολή της αλατότητας σε συνάρτηση με το βάθος την αντίστοιχη περίοδο φαίνεται στη Εικόνα 3. Οι τιμές της αλατότητας στην επιφάνεια του νερού κυμάνθηκαν από 29 ‰ το χειμώνα του 1999 μέχρι 34,4 ‰ την άνοιξη του 1999, ενώ σε βάθος 15 m από 33 ‰ το φθινόπωρο του 1998 μέχρι 37,2 ‰ την άνοιξη του 1999.

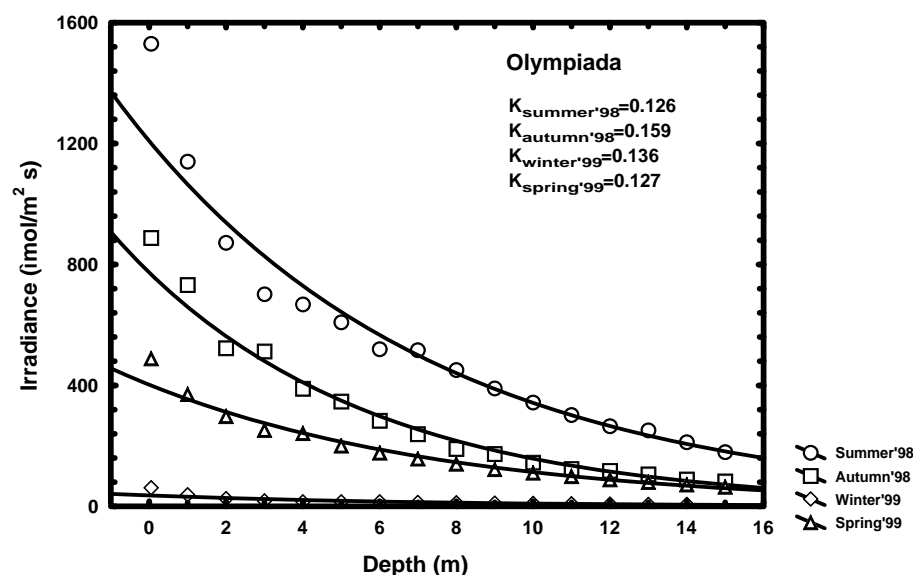
Στην Εικόνα 4 παριστάνεται η εποχική διακύμανση της ενεργούς φωτοσυνθετικής ακτινοβολίας στη στήλη του νερού. Στην επιφάνεια του νερού οι τιμές κυμάνθηκαν από 61,45 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$ (χειμώνας του 1999) μέχρι 1530 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$ (καλοκαίρι του 1998), ενώ σε βάθος 15 m από 3,8 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$ (χειμώνα του 1999) μέχρι 180 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$ (καλοκαίρι του 1998). Η ελάχιστη τιμή του συντελεστή εξασθένησης της φωτοσυνθετικά ενεργούς ακτινοβολίας μετρήθηκε το καλοκαίρι του 1998 (0,126 m^{-1}) και η μέγιστη το φθινόπωρο του 1998 (0,156 m^{-1}).



Εικόνα 2. Εποχική διακύμανση της θερμοκρασίας στη στήλη του νερού στο Σταθμό 1 (Ολυμπιάδα).



Εικόνα 3. Εποχική διακύμανση της αλατότητας στη στήλη του νερού στο Σταθμό 1 (Ολυμπιάδα).



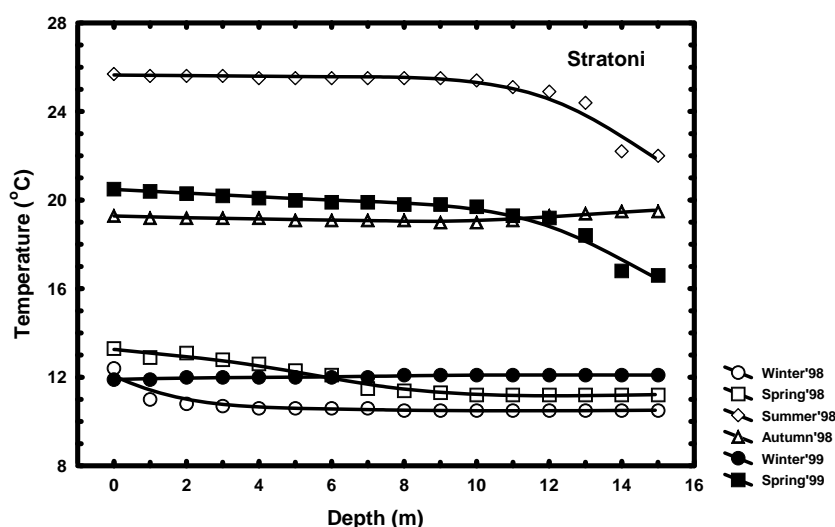
Εικόνα 4. Εποχική διακύμανση της ενεργούς φωτοσυνθετικής ακτινοβολίας (PAR) στη στήλη του νερού στο Σταθμό 1 (Ολυμπιάδα). K = συντελεστής εξασθένησης της φωτοσυνθετικά ενεργούς ακτινοβολίας.

B. Αβιοτικοί παράμετροι στο Σταθμό 2 (Στρατώνι)

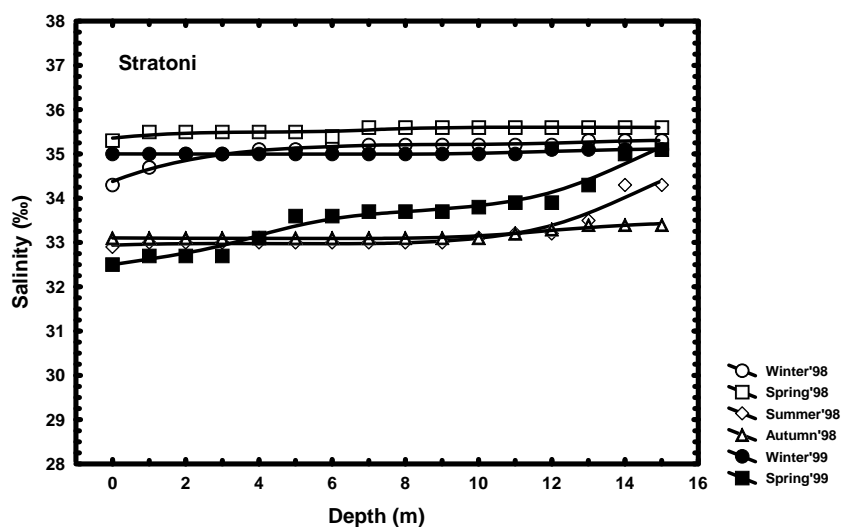
Η εποχική διακύμανση της θερμοκρασίας στη στήλη του νερού, για το χρονικό διάστημα της παρούσας μελέτης, στο Σταθμό 2 (Στρατώνι) φαίνεται στην Εικόνα 5. Στην επιφάνεια του νερού η χαμηλότερη τιμή μετρήθηκε το χειμώνα του 1999 (11,9 °C) ενώ η υψηλότερη μετρήθηκε το καλοκαίρι του 1998 (25,7 °C). Αντίθετα σε βάθος 15 m η θερμοκρασία κυμάνθηκε από 10,5 °C (χειμώνας του 1998) μέχρι 22,2 °C (καλοκαίρι του 1998). Το καλοκαίρι του 1998 και την άνοιξη του 1999 παρατηρείται μείωση της θερμοκρασίας από τα 12 m μέχρι τα 15 m που οφείλεται στη στρωμάτωση της στήλης του νερού.

Η μεταβολή της αλατότητας σε συνάρτηση με το βάθος την αντίστοιχη περίοδο φαίνεται στη Εικόνα 6. Για το χρονικό διάστημα της μελέτης οι τιμές της αλατότητας κυμάνθηκαν στην επιφάνεια του νερού από 32,5 ‰ (άνοιξη του 1999) μέχρι 35,3 ‰ (άνοιξη του 1998), ενώ σε βάθος 15 m από 33,4 ‰ (φθινόπωρο του 1998) μέχρι 35,6 ‰ (άνοιξη του 1998).

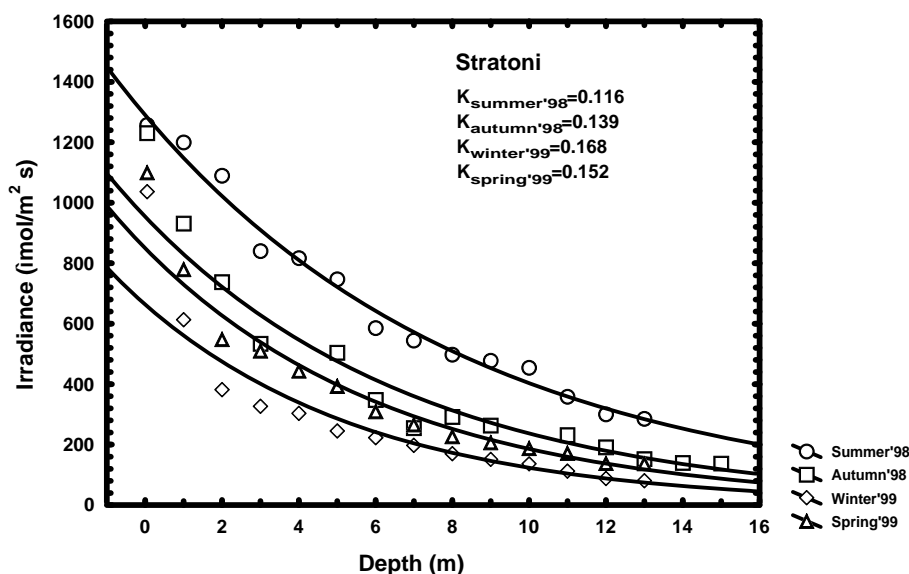
Στην Εικόνα 7 παριστάνεται η εποχική διακύμανση της ενεργούς φωτοσυνθετικής ακτινοβολίας στη στήλη του νερού. Στην επιφάνεια του νερού η χαμηλότερη τιμή μετρήθηκε το χειμώνα του 1999 (1258 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$) και η μεγαλύτερη το καλοκαίρι του 1998 (1491,4 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$). Σε βάθος 15 m οι τιμές κυμάνθηκαν από 80,4 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$ (χειμώνας του 1999) μέχρι 358 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$ (καλοκαίρι του 1998). Η ελάχιστη τιμή του συντελεστή εξασθένησης της φωτοσυνθετικά ενεργούς ακτινοβολίας μετρήθηκε το καλοκαίρι του 1999 (0,116 m^{-1}) και η μέγιστη το χειμώνα του 1999 (0,168 m^{-1}).



Εικόνα 5. Εποχική διακύμανση της θερμοκρασίας στη στήλη του νερού στο Σταθμό 2 (Στρατώνι).



Εικόνα 6. Εποχική διακύμανση της αλατότητας στη στήλη του νερού στο Σταθμό 2 (Στρατώνι).



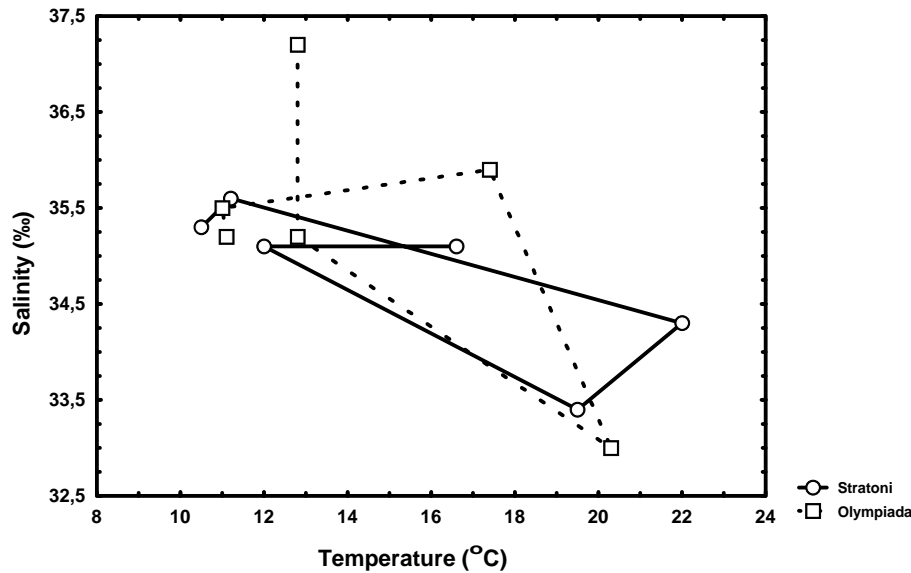
Εικόνα 7. Εποχική διακύμανση της ενεργούς φωτοσυνθετικής ακτινοβολίας (PAR) στη στήλη του νερού στο Σταθμό 2 (Στρατώνι). K = συντελεστής εξασθένησης της φωτοσυνθετικά ενεργούς ακτινοβολίας.

Γ. Συσχέτιση αβιοτικών παραμέτρων στους δύο σταθμούς

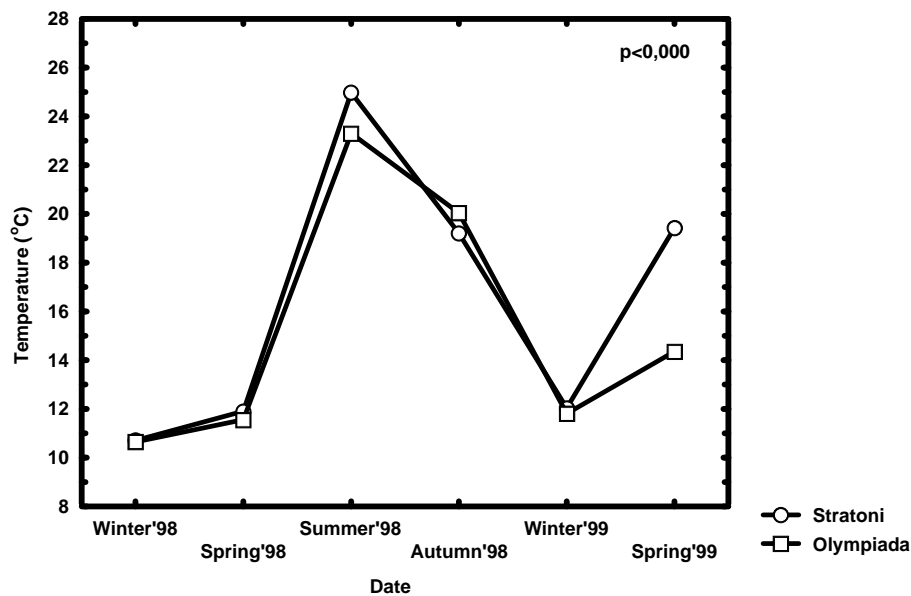
Στην Εικόνα 8 παριστάνεται γραφικά η μεταβολή της αλατότητας σε συνάρτηση με τη θερμοκρασία σε βάθος 15 m. Παρατηρείται ότι οι μεταβολές της αλατότητας είναι εντονότερες στο Σταθμό 1 (Ολυμπιάδα) από το Σταθμό 2 (Στρατώνι) ενώ το εύρος μεταβολής των θερμοκρασιακών τιμών είναι μικρότερο στην Ολυμπιάδα από το Στρατώνι. Γενικά και στους δύο σταθμούς οι υψηλές θερμοκρασίες (καλοκαίρι) συμβαδίζουν με χαμηλές τιμές αλατότητας, ενώ οι χαμηλές θερμοκρασίες (φθινόπωρο-χειμώνας) με υψηλές τιμές αλατότητας.

Η διαφορά των δύο σταθμών όσο αφορά τη διακύμανση της μέσης τιμής της θερμοκρασίας και της αλατότητας στη στήλη του νερού ανάλογα με την εποχή φαίνεται στις Εικόνες 9 και 10, αντίστοιχα. Όσο αφορά τη θερμοκρασία και στους δύο σταθμούς η ελάχιστη μέση τιμή μετρήθηκε το χειμώνα του 1998 και ήταν ίση με 10,7 °C στο Σταθμό 2 (Στρατώνι) και ίση με 10,64 °C στο Σταθμό 1 (Ολυμπιάδα). Η μέγιστη μέση τιμή μετρήθηκε το καλοκαίρι του 1998 και ήταν ίση με 24,98 °C στο Σταθμό 2 και ίση με 23,3 °C στο Σταθμό 1 (εικόνα 9). Όσο αφορά την αλατότητα στο Σταθμό 1 η ελάχιστη μέση τιμή μετρήθηκε το φθινόπωρο του 1998 (32,58 ‰) και η μέγιστη την άνοιξη του 1999 (35,78 ‰). Στο Σταθμό 2 η ελάχιστη μέση τιμή μετρήθηκε το φθινόπωρο του 1998 (33,17 ‰) και η μέγιστη την άνοιξη του 1998 (35,53 ‰).

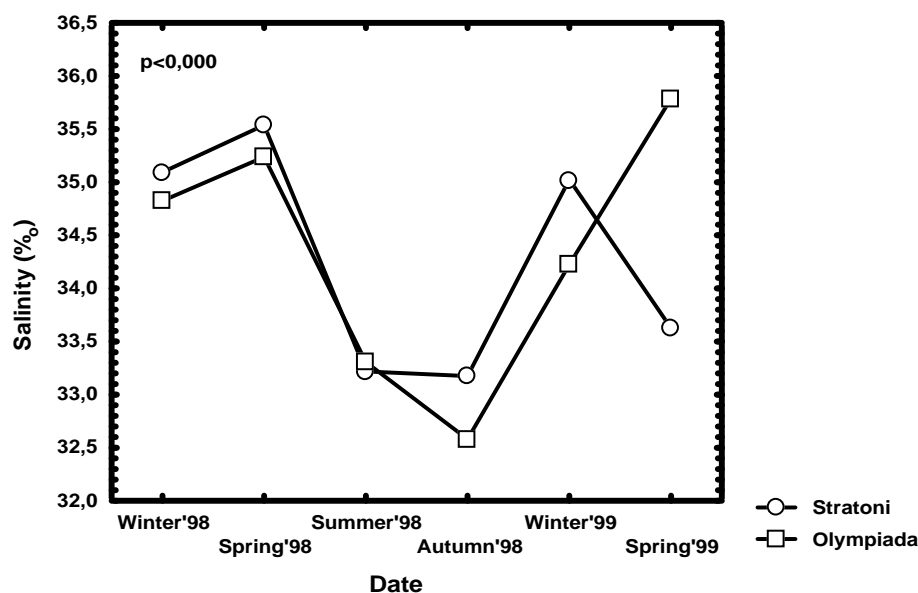
(Εικόνα 10). Σημειώνεται ότι η εφαρμογή της ανάλυσης ANOVA στις μετρήσεις έδειξε ότι οι διαφορές των δύο σταθμών, τόσο ως προς τη διακύμανση της θερμοκρασίας όσο και ως προς τη διακύμανση της αλατότητας, είναι στατιστικά σημαντικές ($p < 0,000$).



Εικόνα 8. Διάγραμμα της αλατότητας-θερμοκρασίας του νερού στους Σταθμούς 1 (Ολυμπιάδα) και 2 (Στρατώνι) σε βάθος 15 m.



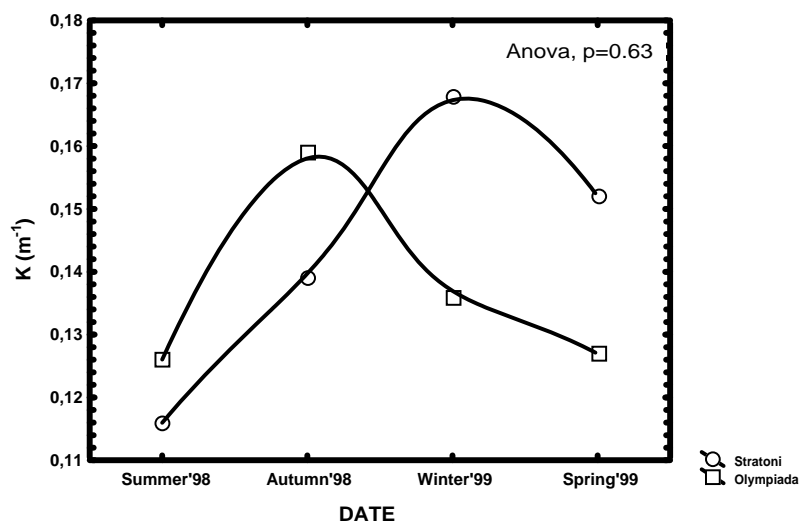
Εικόνα 9. Εποχική διακύμανση της μέσης τιμής της θερμοκρασίας στη στήλη του νερού στους Σταθμούς 1 (Ολυμπιάδα) και 2 (Στρατώνι).



Εικόνα 10. Εποχική διακύμανση της μέσης τιμής της αλατότητας στη στήλη του νερού στους Σταθμούς 1 (Ολυμπιάδα) και 2 (Στρατώνι).

Η εποχική διακύμανση του συντελεστή εξασθένησης της φωτοσυνθετικά ενεργούς ακτινοβολίας (K) σε βάθος 15m, στους δύο σταθμούς, δίνεται στην Εικόνα 11. Στο Σταθμό 1 (Ολυμπιάδα) η ελάχιστη τιμή του συντελεστή K μετρήθηκε το καλοκαίρι του 1998 ($0,126 \text{ m}^{-1}$) και η μέγιστη το φθινόπωρο του 1998 ($0,156 \text{ m}^{-1}$). Στο Σταθμό 2 (Στρατώνι) η ελάχιστη τιμή του συντελεστή K μετρήθηκε το καλοκαίρι του 1998 ($0,116 \text{ m}^{-1}$) και η μέγιστη το χειμώνα του 1999 ($0,168 \text{ m}^{-1}$). Παρατηρείται ότι το εύρος μεταβολής των τιμών του συντελεστή K είναι μεγαλύτερο στο Σταθμό 2 από το Σταθμό 1 ωστόσο η στατιστική επεξεργασία των μετρήσεων έδειξε ότι οι παραπάνω διαφορές δεν είναι σημαντικές.

Στον πίνακα 1 φαίνεται η συσχέτιση της θερμοκρασίας και της αλατότητας για τους δύο σταθμούς. Σημειώνεται ότι στη στατιστική επεξεργασία χρησιμοποιήθηκαν οι μέσες τιμές των παραπάνω παραμέτρων για τη στήλη του νερού για κάθε εποχή. Παρατηρείται ότι συσχετίζονται σημαντικά ($p < 0,05$) οι θερμοκρασιακές τιμές των δύο σταθμών καθώς και οι τιμές της θερμοκρασίας στο Σταθμό 1 (Ολυμπιάδα) με τις τιμές της αλατότητας στο Σταθμό 2 (Στρατώνι).



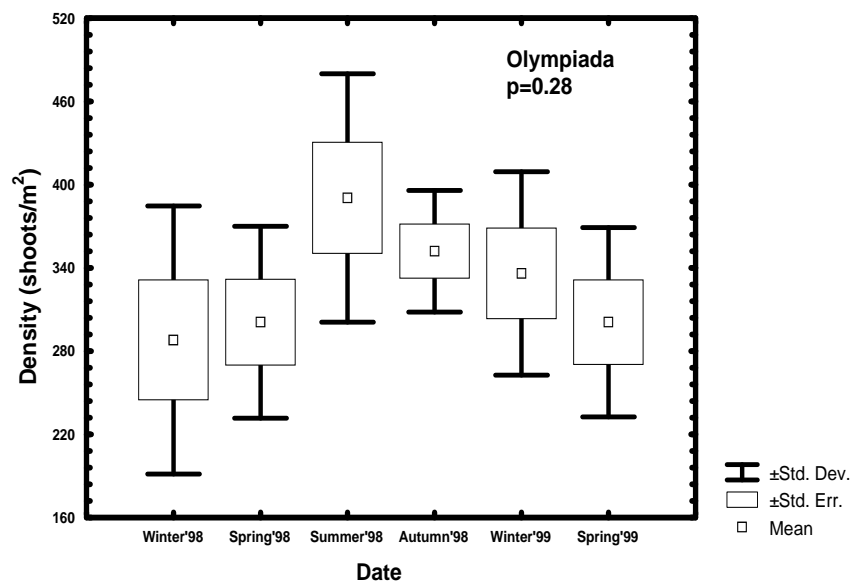
Εικόνα 11. Εποχική διακύμανση του συντελεστή εξασθένησης της φωτοσυνθετικά ενεργούς ακτινοβολίας K στους Σταθμούς 1 (Ολυμπιάδα) και 2 (Στρατώνι).

Πίνακας 1. Συσχέτιση μεταξύ των αβιοτικών παραμέτρων στους Σταθμούς 1 (Ολυμπιάδα) και 2 (Στρατώνι). Η συσχέτιση είναι σημαντική για τιμές $p < 0,05$ (οι στατιστικά σημαντικές τιμές σημειώνονται με *).

	Θερμοκρασία (°C) / Σταθμός 1	Αλατότητα (‰) / Σταθμός 1
Θερμοκρασία (°C) / Σταθμός 2	0,93*	-0,46
Αλατότητα (‰) / Σταθμός 2	-0,88*	0,55

Δ. Βιοτικοί παράμετροι στο Σταθμό 1 (Ολυμπιάδα)

Στην Εικόνα 12 παριστάνεται γραφικά η εποχική μεταβολή της μέσης τιμής της πυκνότητας του λιβαδιού της *Posidonia oceanica* στο Σταθμό 1 (Ολυμπιάδα). Παρατηρείται ότι οι μέσες τιμές της πυκνότητας κυμάνθηκαν από 288 άτομα/m² (χειμώνας του 1998) μέχρι 390,4 άτομα/m² (καλοκαίρι του 1998). Ωστόσο, η εφαρμογή της ανάλυσης ANOVA στα αποτελέσματα έδειξε ότι οι μεταβολές της πυκνότητας του λιβαδιού δεν παρουσιάζουν στατιστικά σημαντικές διαφορές κατά τη διάρκεια της μελέτης ($p=0,28$).

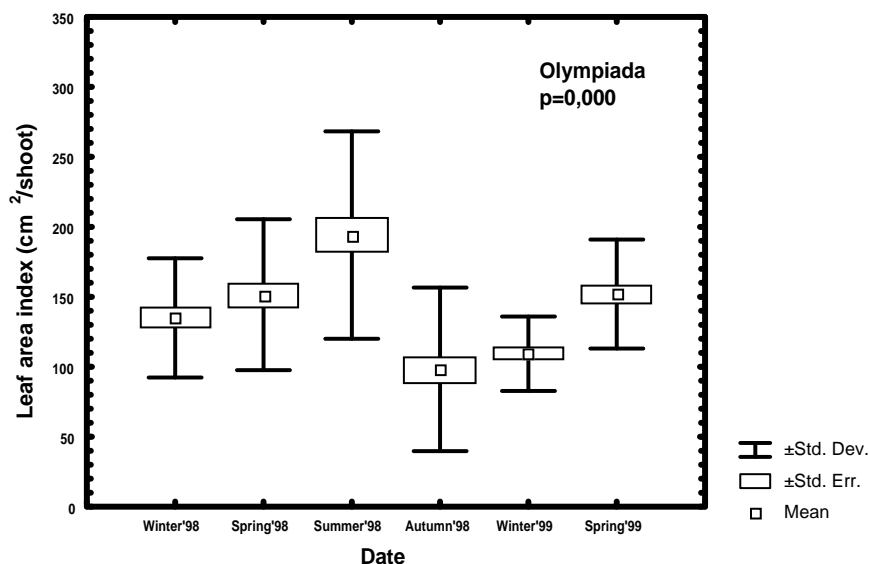


Εικόνα 12. Μέσος όρος, τυπική απόκλιση και τυπικό σφάλμα της πυκνότητας (άτομα/m²) του λιβαδιού του φανερογάμου *Posidonia oceanica* στο Σταθμό 1 (Ολυμπιάδα), κατά τη διάρκεια των δειγματοληψιών.

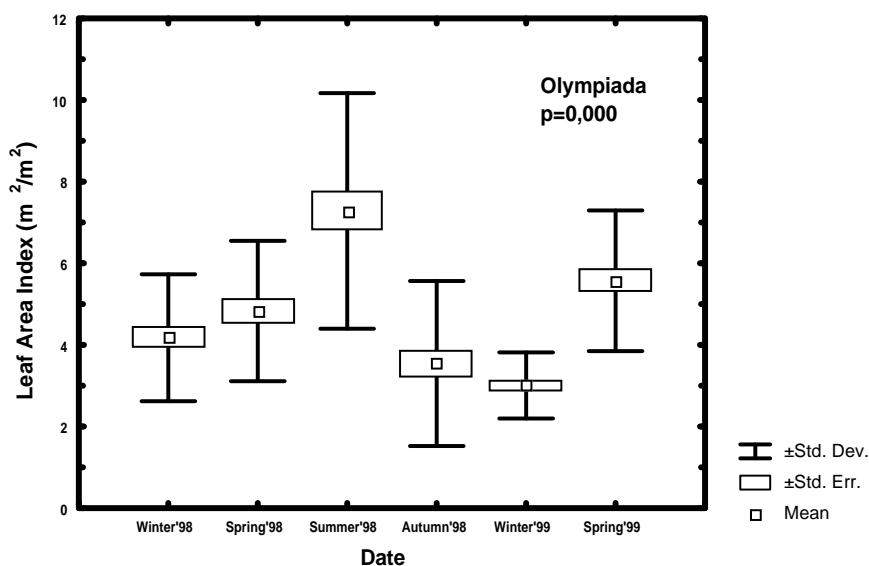
Στις Εικόνες 13 και 14 παριστάνεται γραφικά η εποχική μεταβολή της μέσης τιμής του δείκτη της φυλλικής επιφάνειας. Οι μέσες τιμές του δείκτη φυλλικής επιφάνειας κυμάνθηκαν από 98,15 cm²/άτομο (φθινόπωρο του 1998) μέχρι 194,14 cm²/άτομο (καλοκαίρι του 1998) (Εικόνα 13), και επίσης από 3,005 m²/m² (χειμώνας του 1999), μέχρι 7,28 m²/m² (καλοκαίρι του 1998) (Εικόνα 14). Η εφαρμογή της ανάλυσης ANOVA στις μετρήσεις έδειξε ότι οι διαφορές του δείκτη φυλλικής επιφάνειας ανάλογα με την εποχή, είναι στατιστικά σημαντικές.

Στην Εικόνα 15 παριστάνεται γραφικά η εποχική μεταβολή της μέσης τιμής της ξηρής φωτοσυνθετικής βιομάζας κατά τη διάρκεια της μελέτης. Το λιβάδι εμφάνισε τη μέγιστη μέση τιμή ξηρής φωτοσυνθετικής βιομάζας το καλοκαίρι του 1998 (344,12 g/m²) και την ελάχιστη μέση τιμή το χειμώνα 1999 (117,72 g/m²). Με ANOVA ανάλυση αποδείχτηκε ότι οι εποχικές μεταβολές της μέσης τιμής της ξηρής φωτοσυνθετικής βιομάζας είναι στατιστικά σημαντικές ($p < 0,05$).

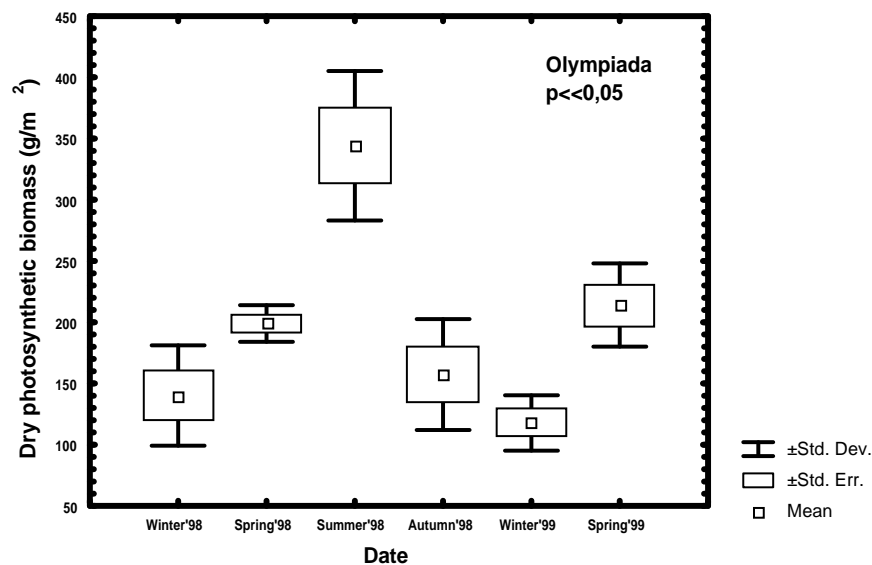
Στην Εικόνα 16 παριστάνεται η εποχική μεταβολή της μέσης τιμής της ολικής ξηρής βιομάζας του λιβαδιού. Η ελάχιστη μέση τιμή μετρήθηκε την άνοιξη του 1998 (942,12 g/m²) και η μέγιστη το καλοκαίρι του 1998 (1377,2 g/m²). Ωστόσο η εφαρμογή της ανάλυσης ANOVA στις μετρήσεις έδειξε ότι οι παραπάνω διαφορές δεν είναι στατιστικά σημαντικές.



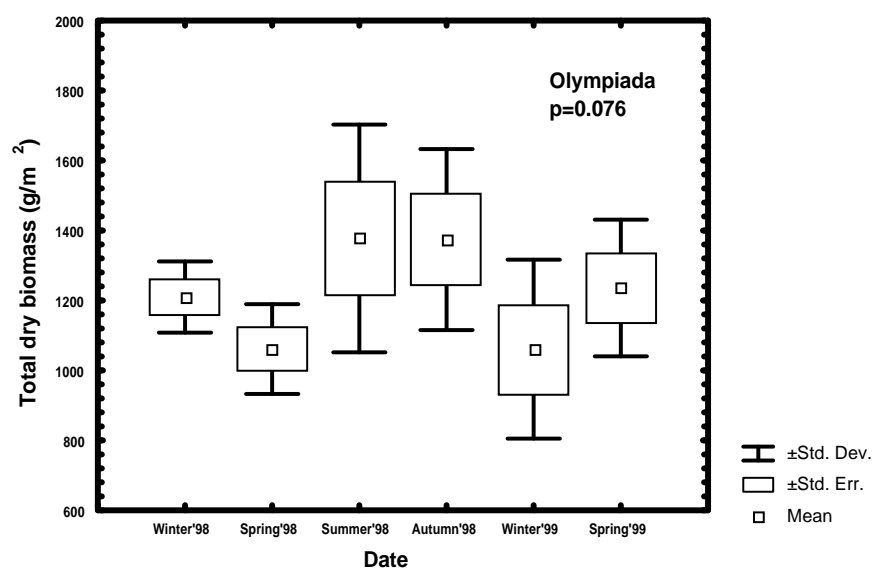
Εικόνα 13. Μέσος όρος, τυπική απόκλιση και τυπικό σφάλμα του δείκτη φυλλικής επιφάνειας (cm²/άτομο) του λιβαδιού της *Posidonia oceanica* στο Σταθμό 1 (Ολυμπιάδα) κατά τη διάρκεια των δειγματοληψιών.



Εικόνα 14. Μέσος όρος, τυπική απόκλιση και τυπικό σφάλμα του δείκτη φυλλικής επιφάνειας (m²/ m²) του λιβαδιού της *Posidonia oceanica* στο Σταθμό 1 (Ολυμπιάδα) κατά τη διάρκεια των δειγματοληψιών.



Εικόνα 15. Μέσος όρος, τυπική απόκλιση και τυπικό σφάλμα της ξηρής φωτοσυνθετικής βιομάζας (g/m^2) του λιβαδιού της *Posidonia oceanica* στο Σταθμό 1 (Ολυμπιάδα) κατά τη διάρκεια των δειγματοληψιών.



Εικόνα 16. Μέσος όρος, τυπική απόκλιση και τυπικό σφάλμα της ξηρής ολικής βιομάζας (g/m^2) του λιβαδιού της *Posidonia oceanica* στο Σταθμό 1 (Ολυμπιάδα) κατά τη διάρκεια των δειγματοληψιών.

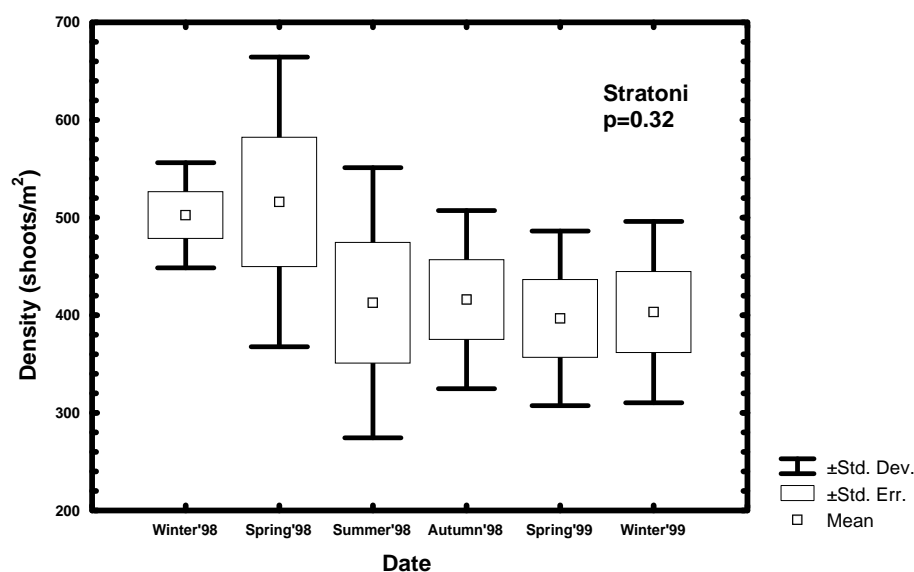
Ε. Βιοτικοί παράμετροι στο Σταθμό 2 (Στρατώνι)

Στην Εικόνα 17 παριστάνεται γραφικά η μεταβολή της μέσης τιμής της πυκνότητας του λιβαδιού της *Posidonia oceanica* στο Σταθμός 2 (Στρατώνι). Παρατηρείται ότι οι μέσες τιμές

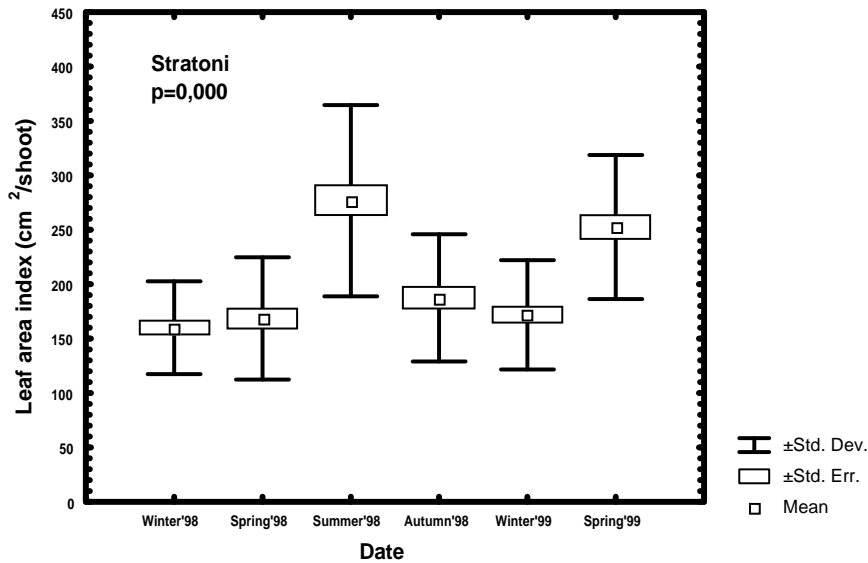
της πυκνότητας κυμάνθηκαν από 396,8 άτομα/m² (άνοιξη του 1999) μέχρι 516 άτομα/m² (άνοιξη του 1998). Ωστόσο η εφαρμογή της ανάλυσης ANOVA στις μετρήσεις έδειξε ότι οι παραπάνω διαφορές δεν είναι στατιστικά σημαντικές.

Στις Εικόνες 18 και 19 παριστάνεται γραφικά η εποχική μεταβολή της μέσης τιμής του δείκτη της φυλλικής επιφάνειας. Οι μέσες τιμές του δείκτη φυλλικής επιφάνειας κυμάνθηκαν από 160,028 cm²/άτομο (χειμώνας του 1998) μέχρι 276,715 cm²/άτομο (καλοκαίρι του 1998) (Εικόνα 18), και επίσης από 7,55 m²/ m² (χειμώνας του 1999), μέχρι 8,16 m²/m² (καλοκαίρι του 1998) (Εικόνα 19). Η εφαρμογή της ανάλυσης ANOVA στις μετρήσεις έδειξε ότι οι διαφορές του δείκτη φυλλικής επιφάνειας ανάλογα με την εποχή, είναι στατιστικά σημαντικές.

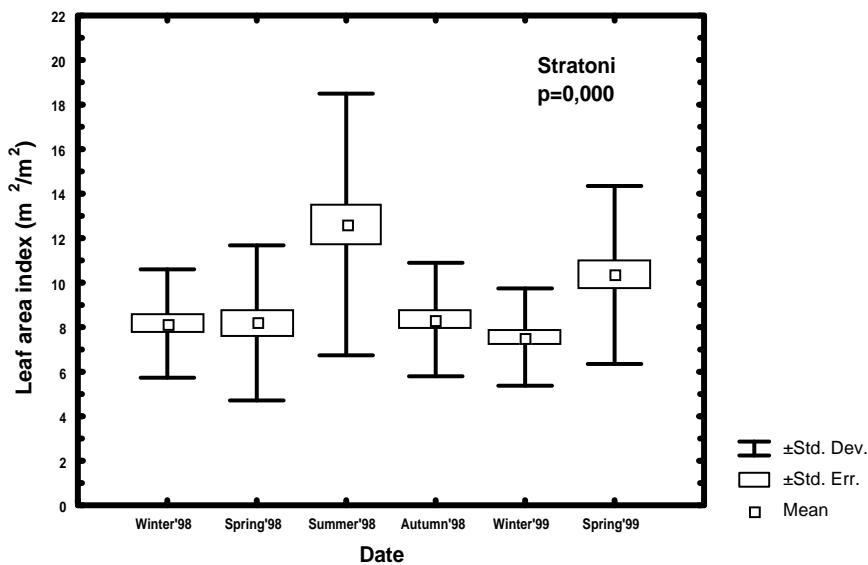
Στην Εικόνα 20 παριστάνεται η εποχική μεταβολή της μέσης τιμής της ξηρής φωτοσυνθετικής βιομάζας. Παρατηρείται ότι η μέση ελάχιστη τιμή της ξηρής φωτοσυνθετικής βιομάζας μετρήθηκε το χειμώνα του 1999 (273,2 g/m²), ενώ η μέγιστη το καλοκαίρι του 1998 (609,88 g/m²). Η ανάλυση ANOVA έδειξε ότι οι εποχικές μεταβολές της φωτοσυνθετικής βιομάζας είναι στατιστικά σημαντικές.



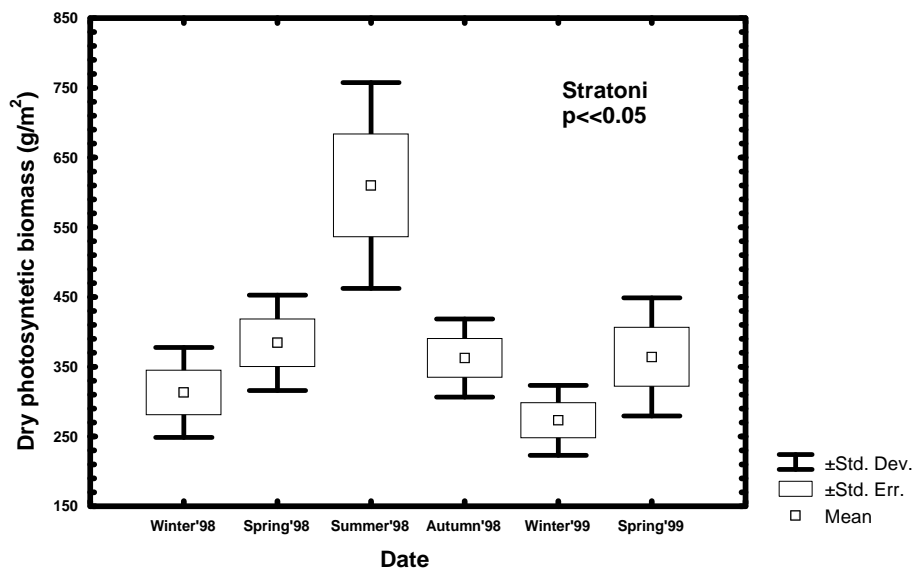
Εικόνα 17. Μέσος όρος, τυπική απόκλιση και τυπικό σφάλμα της πυκνότητας (άτομα/m²) του λιβαδιού του φανερογάμου *Posidonia oceanica* στο Σταθμό 2 (Στρατώνι), κατά τη διάρκεια των δειγματοληψιών.



Εικόνα 18. Μέσος όρος, τυπική απόκλιση και τυπικό σφάλμα του δείκτη φυλλικής επιφάνειας (cm²/shoot) του λιβαδιού της *Posidonia oceanica* στο Σταθμό 2 (Στρατώνι) κατά τη διάρκεια των δειγματοληψιών.

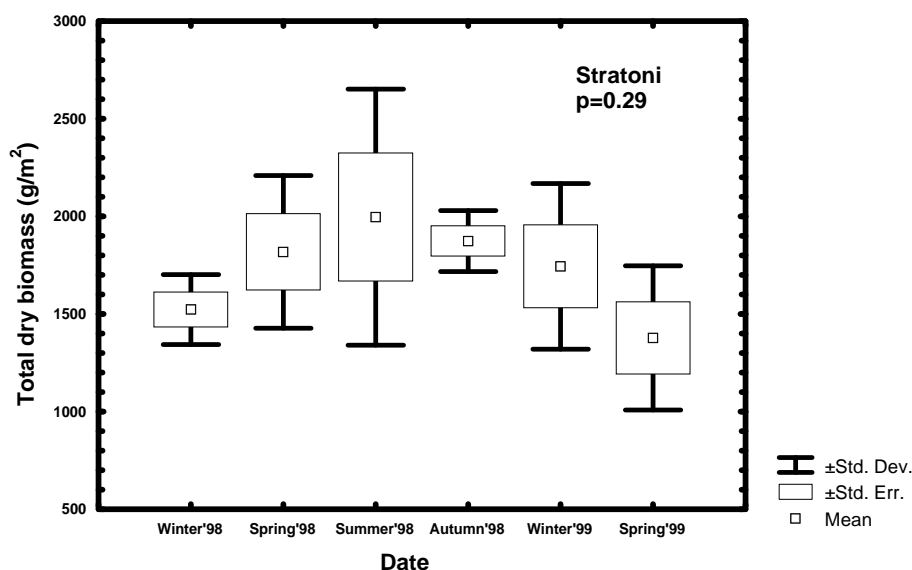


Εικόνα 19. Μέσος όρος, τυπική απόκλιση και τυπικό σφάλμα του δείκτη φυλλικής επιφάνειας (m²/ m²) του λιβαδιού της *Posidonia oceanica* στο Σταθμό 2 (Στρατώνι) κατά τη διάρκεια των δειγματοληψιών.



Εικόνα 20. Μέσος όρος, τυπική απόκλιση και τυπικό σφάλμα της ξηρής φωτοσυνθετικής βιομάζας (g/m^2) του λιβαδιού της *Posidonia oceanica* στο Σταθμό 2 (Στρατώνι) κατά τη διάρκεια των δειγματοληψιών.

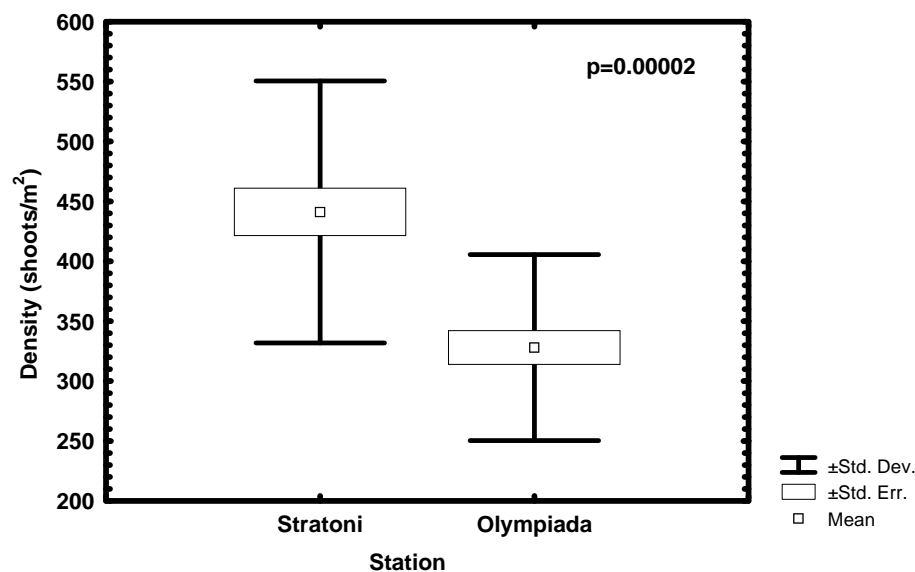
Οι εποχικές μεταβολές της μέσης τιμής της ολικής βιομάζας του λιβαδιού της *Posidonia oceanica* στο Σταθμό 2 παριστάνονται γραφικά στην Εικόνα 21. Παρατηρείται ότι η ολική βιομάζα παρουσίασε διακυμάνσεις ανάλογα με την εποχή, εμφανίζοντας την ελάχιστη μέση τιμή την άνοιξη του 1999 ($1377,48 \text{ g/m}^2$) και τη μέγιστη το καλοκαίρι του 1998 ($1996,08 \text{ g/m}^2$). Ωστόσο η εφαρμογή της ανάλυσης ANOVA στις μετρήσεις έδειξε ότι οι παραπάνω διαφορές δεν είναι στατιστικά σημαντικές.



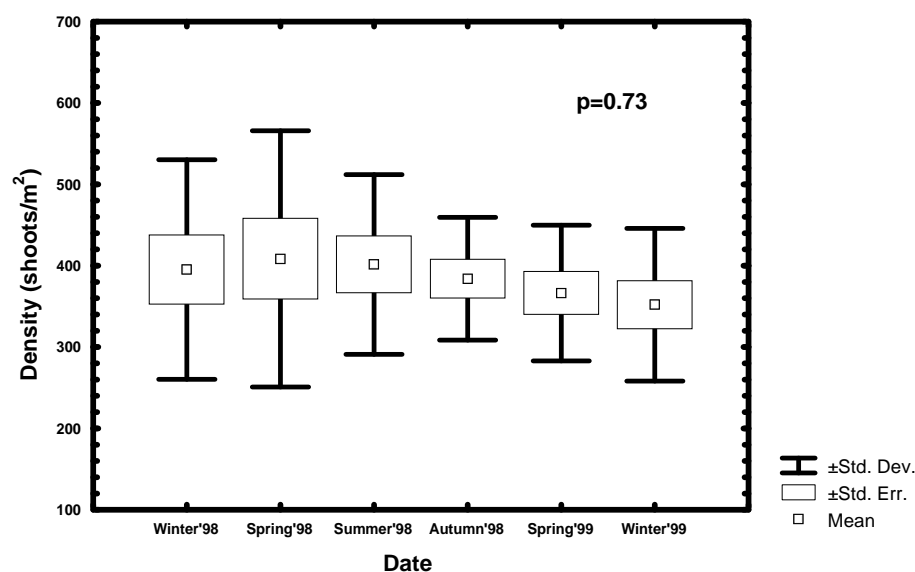
Εικόνα 21. Μέσος όρος, τυπική απόκλιση και τυπικό σφάλμα της ξηρής ολικής βιομάζας (g/m^2) του λιβαδιού της *Posidonia oceanica* στο Σταθμό 2 (Στρατώνι) κατά τη διάρκεια των δειγματοληψιών.

ΣΤ. Συσχέτιση βιοτικών παραμέτρων στους δύο σταθμούς

Στην Εικόνα 22 φαίνεται η συσχέτιση των δύο σταθμών ως προς την πυκνότητα για το χρονικό διάστημα της μελέτης. Η μέση τιμή της πυκνότητας διαφέρει για τα λιβάδια των δύο σταθμών, εμφανίζοντας τη μεγαλύτερη τιμή στο Σταθμό 2 (Στρατώνι) ($441,2 \text{ άτομα/m}^2$) και τη μικρότερη στο Σταθμό 1 (Ολυμπιάδα) (328 άτομα/m^2). Με την εφαρμογή της ανάλυσης ANOVA στις μετρήσεις βρέθηκε ότι οι παραπάνω διαφορές είναι στατιστικά σημαντικές (Εικόνα 22). Αντίθετα, ανεξάρτητα από τους σταθμούς, η στατιστική επεξεργασία των αποτελεσμάτων έδειξε ότι η εποχική μεταβολή της πυκνότητας δεν είναι στατιστικά σημαντική στη χρονική διάρκεια παρούσας μελέτης (Εικόνα 23).



Εικόνα 22. Μέσος όρος, τυπική απόκλιση και τυπικό σφάλμα της πυκνότητας (άτομα/m²) του λιβαδιού του φανερογάμου *Posidonia oceanica* στους Σταθμούς 1 (Ολυμπιάδα) και 2 (Στρατώνι).



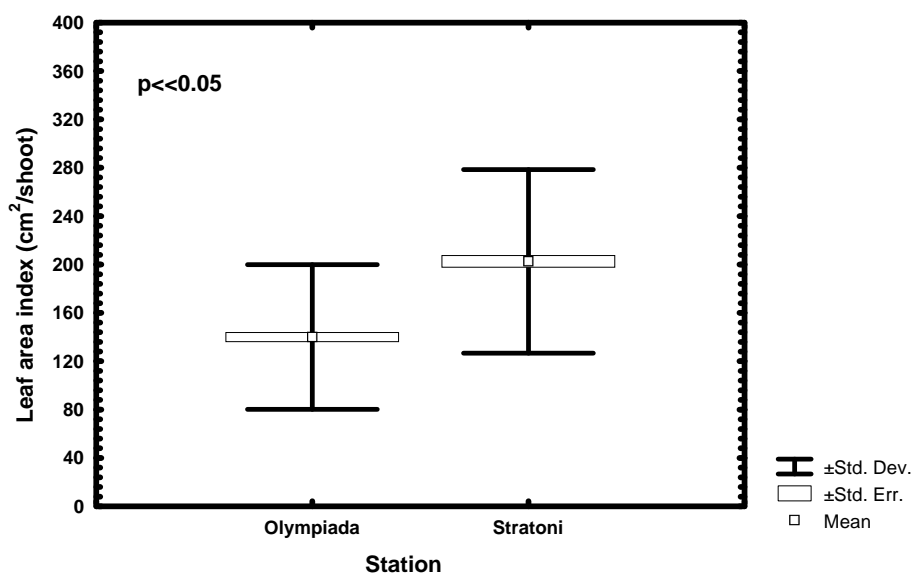
Εικόνα 23. Μέσος όρος, τυπική απόκλιση και τυπικό σφάλμα της πυκνότητας (άτομα/m²) του λιβαδιού του φανερογάμου *Posidonia oceanica* κατά τη διάρκεια των δειγματοληψιών.

Στις Εικόνες 24 και 25 φαίνεται η συσχέτιση των δύο σταθμών ως προς το δείκτη φυλλικής επιφάνειας για το χρονικό διάστημα της μελέτης. Η μέση τιμή του δείκτη φυλλικής επιφάνειας είναι μεγαλύτερη στο Σταθμό 2 (Στατώνι) από το Σταθμό 1 (Ολυμπιάδα). Στο Σταθμό 2 βρέθηκε ότι είναι ίση με 202,6 cm²/άτομο και ίση με 9,18 m²/m². Στο Σταθμό 1

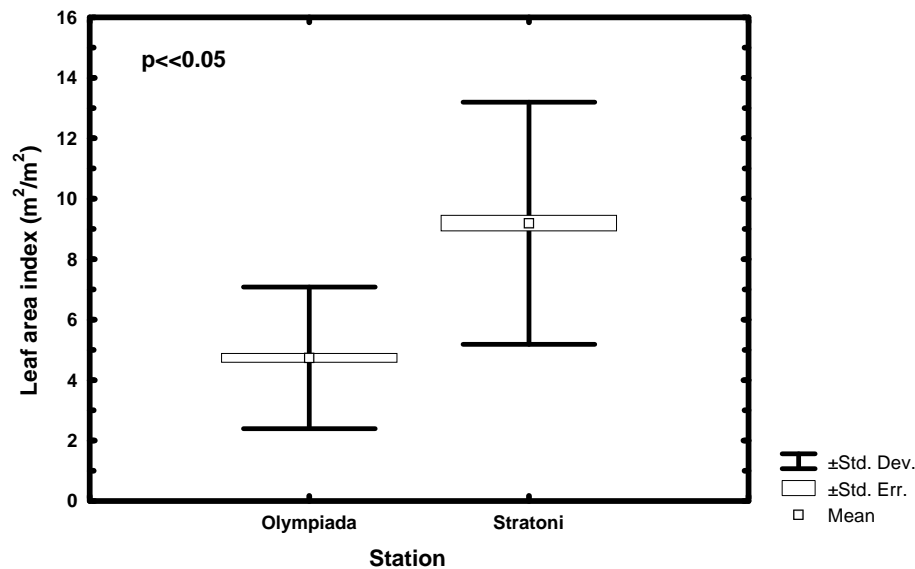
βρέθηκε ότι είναι ίση με $140 \text{ cm}^2/\text{άτομο}$ και $4,734 \text{ m}^2/\text{m}^2$. Η εφαρμογή της ανάλυσης ANOVA στα αποτελέσματα έδειξε ότι η διαφορά των δύο σταθμών ως προς τη μέση τιμή του δείκτη φυλλικής επιφάνειας είναι στατιστικά σημαντική

Στην Εικόνα 26 φαίνεται η συσχέτιση των δύο σταθμών ως προς τη ξηρή φωτοσυνθετική βιομάζα για το χρονικό διάστημα της μελέτης. Στο Σταθμό 2 (Στρατώνι) η μέση τιμή της φωτοσυνθετικής βιομάζας υπολογίστηκε ίση με $384,56 \text{ gr/m}^2$ ενώ στο Σταθμό 1 (Ολυμπιάδα) ίση με $195,4 \text{ gr/m}^2$. Επίσης, η στατιστική επεξεργασία των αποτελεσμάτων έδειξε ότι οι δύο σταθμοί διαφέρουν σημαντικά ως προς τη συγκεκριμένη παράμετρο.

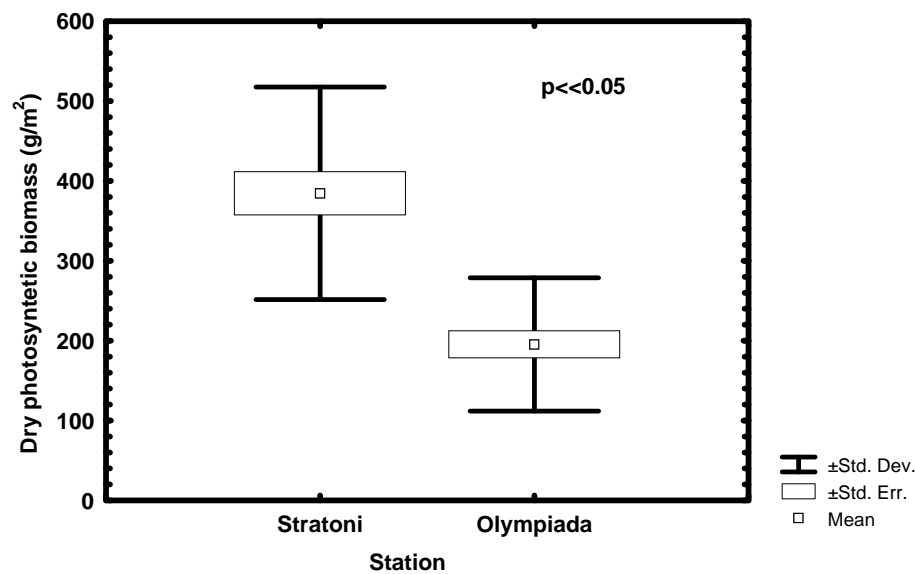
Στην Εικόνα 27 φαίνεται η συσχέτιση των δύο σταθμών ως προς την ολική βιομάζα. Στο Σταθμό 2 η μέση τιμή της ολικής βιομάζας βρέθηκε ότι είναι ίση με $1742,8 \text{ g/m}^2$, ενώ στο Σταθμό 1 η μέση τιμή της ολικής βιομάζας βρέθηκε ότι είναι ίση με $1199,97 \text{ g/m}^2$. Η στατιστική επεξεργασία των μετρήσεων έδειξε ότι οι παραπάνω διαφορές είναι στατιστικά σημαντικές.



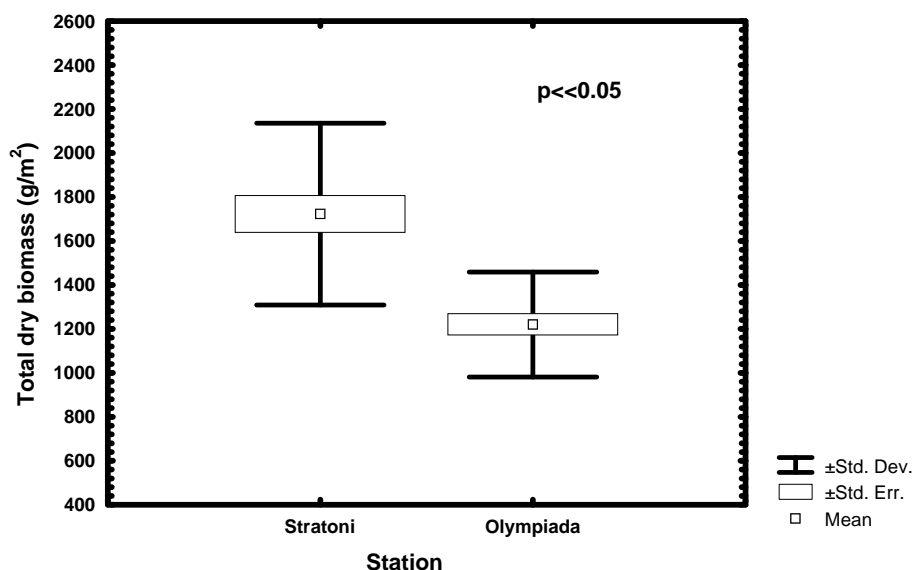
Εικόνα 24. Μέσος όρος, τυπική απόκλιση και τυπικό σφάλμα του δείκτη φυλλικής επιφάνειας ($\text{cm}^2/\text{άτομο}$) του λιβαδιού της *Posidonia oceanica* κατά τη διάρκεια των δειγματοληψιών στους Σταθμούς 1 (Ολυμπιάδα) και 2 (Στρατώνι).



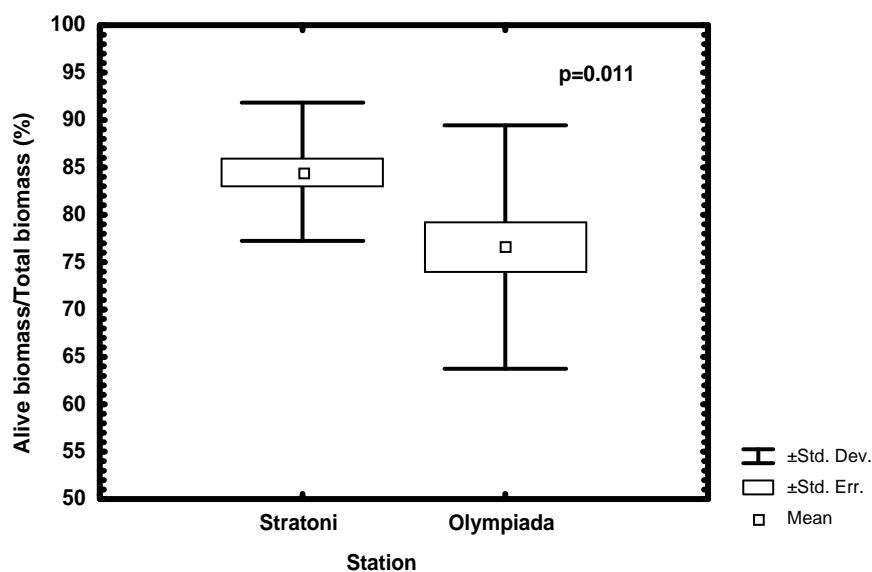
Εικόνα 25. Μέσος όρος, τυπική απόκλιση και τυπικό σφάλμα του δείκτη φυλλικής επιφάνειας (m^2/m^2) του λιβαδιού της *Posidonia oceanica* κατά τη διάρκεια των δειγματοληψιών στους Σταθμούς 1 (Ολυμπιάδα) και 2 (Στρατώνι).



Εικόνα 26. Μέσος όρος, τυπική απόκλιση και τυπικό σφάλμα της ξηρής φωτοσυνθετικής βιομάζας (g/m^2) του λιβαδιού της *Posidonia oceanica* κατά τη διάρκεια των δειγματοληψιών στους Σταθμούς 1 (Ολυμπιάδα) και 2 (Στρατώνι).



Εικόνα 27. Μέσος όρος, τυπική απόκλιση και τυπικό σφάλμα της ξηρής ολικής βιομάζας (g/m²) του λιβαδιού της *Posidonia oceanica* κατά τη διάρκεια των δειγματοληψιών στους Σταθμούς 1 (Ολυμπιάδα) και 2 (Στρατώνι).



Εικόνα 28. Μέσος όρος, τυπική απόκλιση και τυπικό σφάλμα του λόγου της ζωντανής προς την ολική βιομάζα (%) του λιβαδιού της *Posidonia oceanica* κατά τη διάρκεια των δειγματοληψιών στους Σταθμούς 1 (Ολυμπιάδα) και 2 (Στρατώνι).

Στην Εικόνα 28 φαίνεται η συσχέτιση των δύο σταθμών ως προς το λόγο της ζωντανής προς την ολική βιομάζα. Ο λόγος αυτός είναι μεγαλύτερος στο Σταθμό 2 (Στρατώνι) (84,53 %) σε σύγκριση με το Σταθμό 1 (Ολυμπιάδα) (76,58 %). Τέλος η στατιστική επεξεργασία των

μετρήσεων έδειξε ότι οι παραπάνω διαφορές είναι στατιστικά σημαντικές. Σημειώνεται ότι στον υπολογισμό της ολικής βιομάζας έχει ληφθεί υπόψη και η νεκρή βιομάζα.

Z. Συσχέτιση των αβιοτικών και των βιοτικών παραμέτρων στο Σταθμό 1 (Ολυμπιάδα) και 2 (Στρατόνι).

Τα αποτελέσματα της στατιστικής συσχέτισης των αβιοτικών και βιοτικών παραμέτρων στο Σταθμό 1 (Ολυμπιάδα) φαίνονται στον Πίνακα 2. Σημειώνεται ότι στην στατιστική ανάλυση χρησιμοποιήθηκαν οι μέσες τιμές των αβιοτικών και των βιοτικών παραμέτρων για κάθε εποχή. Παρατηρείται ότι συσχετίζονται σημαντικά μόνο ο δείκτης φυλλικής επιφάνειας και η φωτοσυνθετική βιομάζα ($p < 0,05$).

Ανάλογα με το Σταθμό 1 πραγματοποιήθηκε η στατιστική συσχέτιση των αβιοτικών και βιοτικών παραμέτρων στο Σταθμό 2 (Στρατόνι). Στο σταθμό αυτό παρατηρείται σημαντική θετική συσχέτιση του δείκτη φυλλικής επιφάνειας με τη φωτοσυνθετική βιομάζα καθώς και με τη θερμοκρασία και επιπλέον αρνητική συσχέτιση της θερμοκρασίας με την αλατότητα ($p < 0,05$) (Πίνακας 3).

Πίνακας 2. Συσχέτιση μεταξύ των αβιοτικών και των βιοτικών παραμέτρων στον Σταθμό 1 (Ολυμπιάδα). Η συσχέτιση είναι σημαντική για τιμές $p < 0,05$ (οι αντίστοιχες τιμές σημειώνονται με *).

	Θερμοκρασία (°C)	Αλατότητα (‰)	Δείκτης φυλλικής επιφάνειας (m^2/m^2)	Φωτοσυνθετική βιομάζα (g/m^2)	Ολική βιομάζα (g/m^2)
Θερμοκρασία (°C)	1,00	-0,74	0,55	0,71	0,81
Αλατότητα (‰)	-0,74	1,00	0,07	-0,15	-0,62
Δείκτης φυλλικής επιφάνειας (m^2/m^2)	0,55	0,07	1,00	0,97*	0,36
Φωτοσυνθετική βιομάζα (g/m^2)	0,71	-0,15	0,97*	1,00	0,42
Ολική βιομάζα (g/m^2)	0,81	-0,62	0,36	0,42	1,00

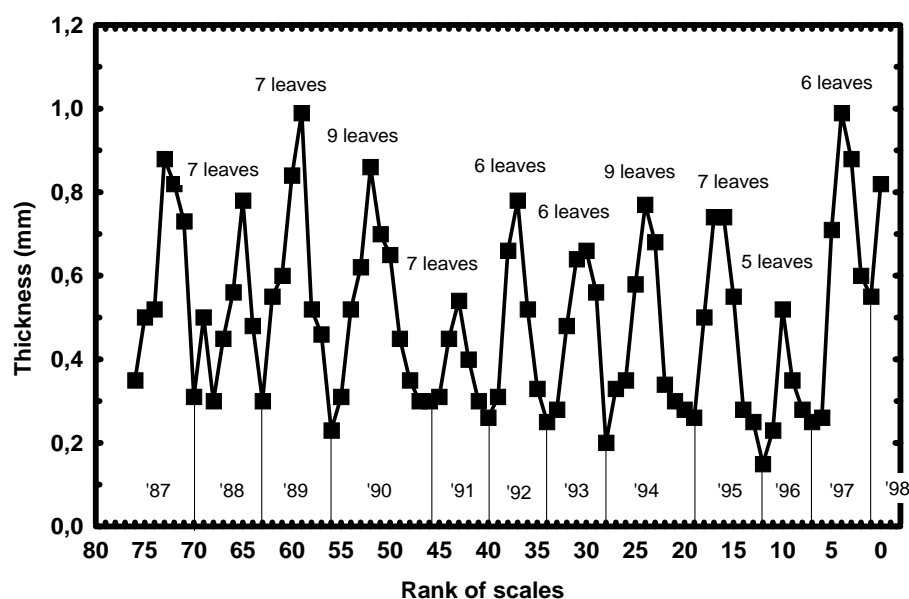
Πίνακας 3. Συσχέτιση μεταξύ των αβιοτικών και των βιοτικών παραμέτρων στον Σταθμό 2 (Στρατώνι). Η συσχέτιση είναι σημαντική για τιμές $p < 0,05$ (οι αντίστοιχες τιμές σημειώνονται με *).

	Θερμοκρασία (°C)	Αλατότητα (‰)	Δείκτης φυλλικής επιφάνειας (m^2/m^2)	Φωτοσυνθετική βιομάζα (g/m^2)	Ολική βιομάζα (g/m^2)
Θερμοκρασία (°C)	1,00	-0,92*	0,88*	0,81	0,25
Αλατότητα (‰)	-0,92*	1,00	-0,67	-0,55	-0,08
Δείκτης φυλλικής επιφάνειας (m^2/m^2)	0,88*	-0,67	1,00	0,90*	0,15
Φωτοσυνθετική βιομάζα (g/m^2)	0,81	-0,55	0,90*	1,00	0,53
Ολική βιομάζα (g/m^2)	0,25	-0,08	0,15	0,53	1,00

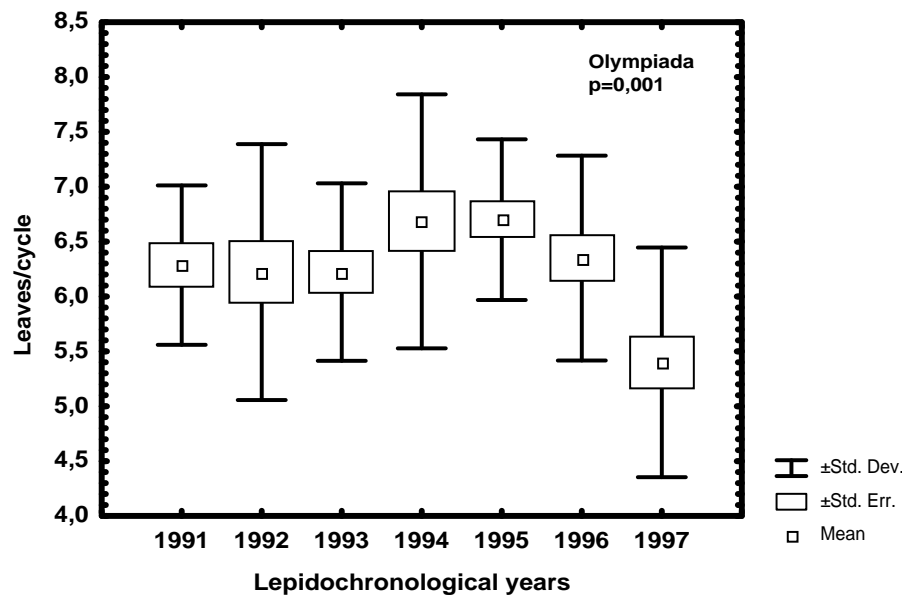
Η. Λεπιδοχρονολογική ανάλυση στο Σταθμό 1 (Ολυμπιάδα)

Η λεπιδοχρονολογική ανάλυση πραγματοποιήθηκε σε 20 κάθετα ριζώματα του λιβαδιού του Σταθμού 1 (Ολυμπιάδα). Μια χαρακτηριστική καμπύλη λεπιδοχρονολόγησης ενός κάθετου ριζώματος παριστάνεται στην Εικόνα 29, όπου φαίνεται ο αριθμός και το πάχος των λεπίδων, και σημειώνονται οι κύκλοι (έτη) λεπιδοχρονολόγησης και ο αριθμός των φύλλων που έχουν παραχθεί σε κάθε κύκλο.

Τα αποτελέσματα της λεπιδοχρονολογικής ανάλυσης χρησιμοποιήθηκαν για τον προσδιορισμό της παραγωγικότητας του λιβαδιού (αριθμός φύλλων/έτος λεπιδοχρονολόγησης) στο χρονικό διάστημα των επτά τελευταίων ετών. Παρατηρείται ότι ο αριθμός των φύλλων παρουσιάζει διακυμάνσεις ανάλογα με το έτος λεπιδοχρονολόγησης, εμφανίζοντας την ελάχιστη μέση τιμή το 1997 (5,4 φύλλα/κύκλο) και τη μέγιστη το 1995 (6,7 φύλλα/κύκλο). Η στατιστική επεξεργασία των μετρήσεων έδειξε ότι οι παραπάνω διαφορές είναι στατιστικά σημαντικές (Εικόνα 30).



Εικόνα 29. Κυκλική μεταβολή του πάχους των λεπίδων ενός κάθετου ριζώματος του Σταθμού 1 (Ολυμπιάδα). Επίσης σημειώνεται η χρονική σημασία των κύκλων και ο αριθμός των φύλλων που έχουν παραχθεί ανά χρόνο.

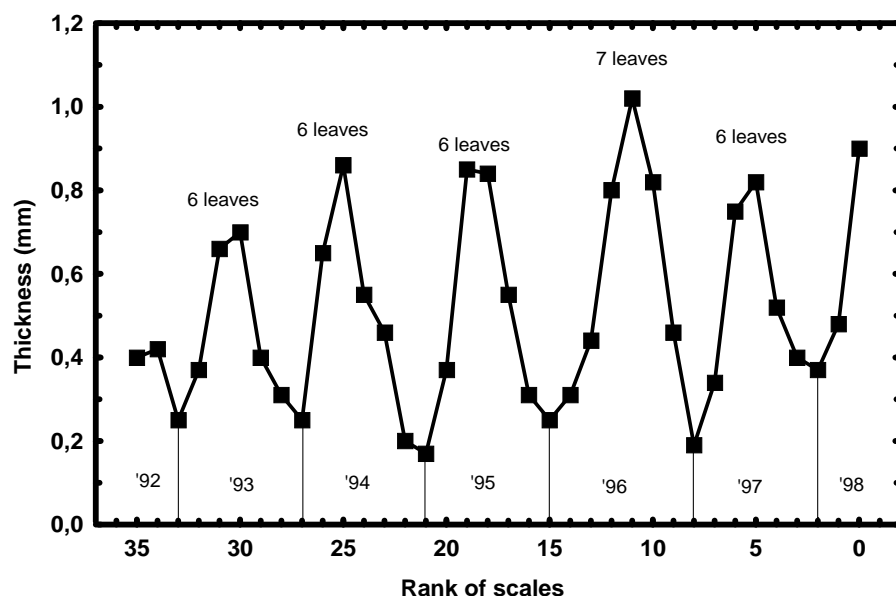


Εικόνα 30. Μέσος όρος, τυπική απόκλιση και τυπικό σφάλμα του αριθμού των φύλλων που έχουν παραχθεί ανά κύκλο, στο Σταθμό 1 (Ολυμπιάδα), κατά τη διάρκεια των χρόνων λεπιδοχρονολόγησης 1991-1997.

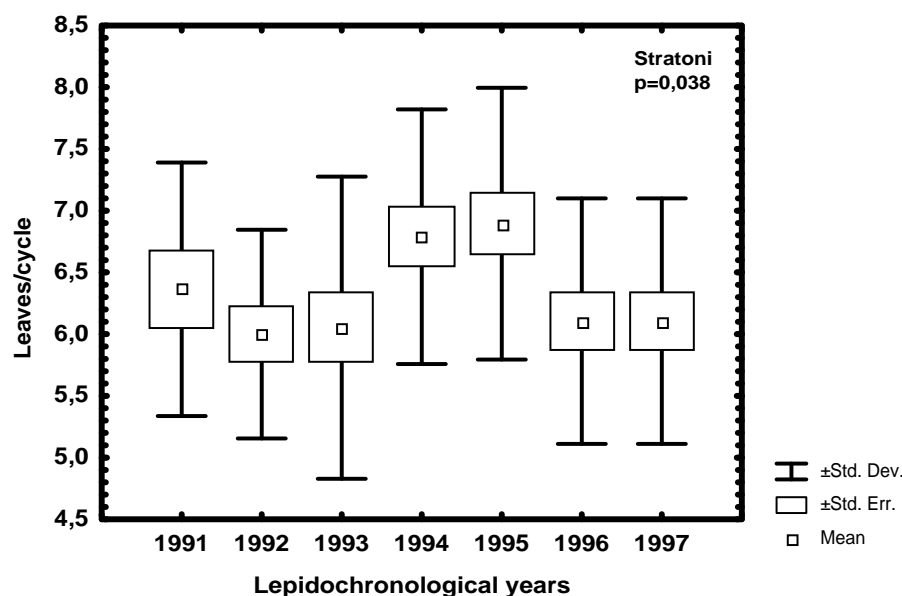
Θ. Λεπιδοχρονολογική ανάλυση στο Σταθμό 2 (Στρατώνι)

Η λεπιδοχρονολογική ανάλυση στο Σταθμό 2 (Στρατώνι) πραγματοποιήθηκε σε 19 τυχαία κάθετα ριζώματα. Στην Εικόνα 31 παριστάνεται μια χαρακτηριστική καμπύλη λεπιδοχρονολόγησης, όπου φαίνεται ο αριθμός και το πάχος των λεπίδων και σημειώνονται οι κύκλοι λεπιδοχρονολόγησης και ο αριθμός των φύλλων που έχουν παραχθεί σε κάθε κύκλο.

Ο προσδιορισμός της παραγωγικότητας του λιβαδιού τα τελευταία επτά χρόνια (1991-1997) έδειξε ότι ο αριθμός των φύλλων παρουσιάζει διακυμάνσεις ανάλογα με το έτος λεπιδοχρονολόγησης, εμφανίζοντας την ελάχιστη μέση τιμή το 1992 (6 φύλλα/κύκλο) και τη μέγιστη το 1995 (6,89 φύλλα/κύκλο). Η στατιστική επεξεργασία των μετρήσεων έδειξε ότι οι παραπάνω διαφορές είναι στατιστικά σημαντικές (Εικόνα 32).



Εικόνα 31. Κυκλική μεταβολή του πάχους των λεπίδων ενός κάθετου ριζώματος του Σταθμού 2 (Στρατώνι). Επίσης σημειώνεται η χρονική σημασία των κύκλων και ο αριθμός των φύλλων που έχουν παραχθεί ανά χρόνο.

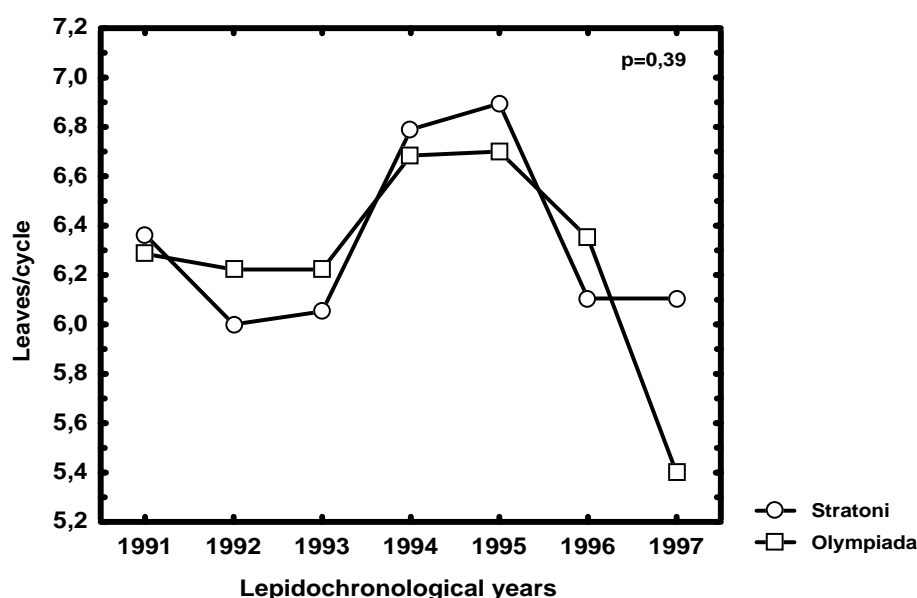


Εικόνα 32. Μέσος όρος, τυπική απόκλιση και τυπικό σφάλμα του αριθμού των φύλλων που έχουν παραχθεί ανά κύκλο, στο Σταθμό 2 (Στρατώνι), κατά τη διάρκεια των χρόνων λεπιδοχρονολόγησης 1991-1997.

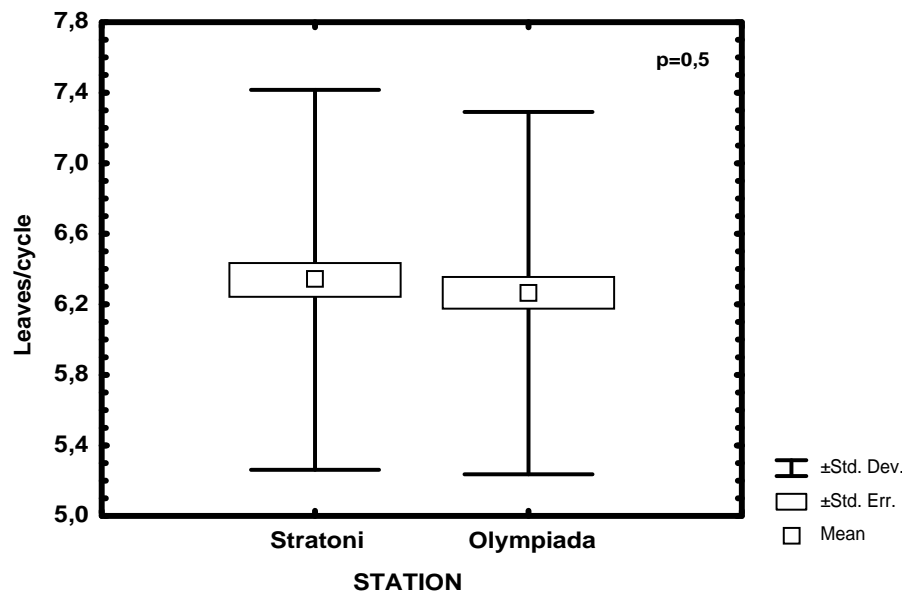
I. Συσχέτιση των αποτελεσμάτων της λεπιδοχρονολογικής ανάλυσης στους δύο σταθμούς.

Στην Εικόνα 33 παριστάνεται η διακύμανση της μέσης τιμής του αριθμού των φύλλων που έχουν παραχθεί ανά έτος λεπιδοχρονολόγησης, κατά τη διάρκεια των επτά τελευταίων

ετών (1991-1997), στα λιβάδια των δύο σταθμών. Εφαρμόζοντας την ανάλυση ANOVA στα αποτελέσματα παρατηρήθηκε ότι τα λιβάδια στους δύο σταθμούς δε διαφέρουν σημαντικά ως προς το ρυθμό παραγωγής των φύλλων ($p=0,39$). Στην Εικόνα 34 παριστάνεται η μέση τιμή, η τυπική απόκλιση και το τυπικό σφάλμα του αριθμού των φύλλων ανά έτος, συνολικά για το χρονικό διάστημα 1991-1997, για τα λιβάδια των δύο σταθμών. Η μέση τιμή του αριθμού των φύλλων που έχουν παραχθεί ανά χρόνο λεπιδοχρονολόγησης είναι 6,33 φύλλα/έτος και 6,22 φύλλα/έτος, για το Σταθμό 2 (Στρατώνι) και το Σταθμό 1 (Ολυμπιάδα) αντίστοιχα, ενώ η στατιστική επεξεργασία των μετρήσεων έδειξε ότι οι παραπάνω διαφορές δεν είναι στατιστικά σημαντικές.



Εικόνα 33. Μέσος όρος του αριθμού των φύλλων που έχουν παραχθεί ανά κύκλο, στους Σταθμούς 1 (Ολυμπιάδα) και 2 (Στρατώνι), κατά τη διάρκεια των χρόνων λεπιδοχρονολόγησης 1991-1997.



Εικόνα 34. Μέσος όρος, τυπική απόκλιση και τυπικό σφάλμα του αριθμού των φύλλων που έχουν παραχθεί ανά έτος λεπιδochρονολόγησης, στους Σταθμούς 1 (Ολυμπιάδα) και 2 (Στρατώνι) κατά τη διάρκεια 1991-1997.

ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Τα αποτελέσματα της παρούσης έρευνας πρέπει να αξιολογηθούν, έχοντας υπόψη, ότι η έρευνα στα θαλάσσια φανερόγραμμα διεθνώς, περιορίζεται κατά κύριο λόγο σε έρευνα πεδίου και λιγότερο σε έρευνα εργαστηρίου (Larkum et. al., 1989). Το γεγονός αυτό δίνει δυνατότητες κατά κύριο λόγο περιγραφής και λιγότερο αιτιατής εξήγησης μιας υφιστάμενης κατάστασης. Βέβαια, η υπάρχουσα κατεύθυνση της έρευνας δεν είναι τυχαία, αλλά σχετίζεται με τους αργούς ρυθμούς αύξησης, ιδιαίτερα των ριζωμάτων και το μεγάλο μέγεθος υποδομής που απαιτείται για το σχεδιασμό και την εκτέλεση οικοφυσιολογικών πειραμάτων με φανερόγραμμα. Ετσι, για παράδειγμα, για τη μείωση των λιβαδιών των φανερογράμων στη θάλασσα, υπάρχει μια μόνο αποδεκτή θεωρία που σχετίζεται με τη μείωση της φωτοσυνθετικά ενεργούς ακτινοβολίας που φθάνει στους χλωροπλάστες των φανερογράμων για φωτοσύνθεση (Shepherd et. al. 1989).

Έχοντας υπόψη τα παραπάνω, τα λιβάδια της *Posidonia oceanica* στους δύο σταθμούς του Στρυμονικού Κόλπου έδειξαν ομοιότητες και διαφορές ως προς την πυκνότητα, τα φαινολογικά χαρακτηριστικά, τη βιομάζα και τους κύκλους λεπιδochρονολόγησης.

Οι κυριότερες ομοιότητες που παρουσίασαν τα λιβάδια των δύο σταθμών είναι οι εξής:

(α) Η μέση πυκνότητα των λιβαδιών, αν και διαφορετική σε κάθε σταθμό, δε μεταβλήθηκε στατιστικά σημαντικά κατά τη χρονική περίοδο διεξαγωγής της έρευνας. Το

αποτελέσμα αυτό βρίσκεται σε συμφωνία με αποτελέσματα παρόμοιων εργασιών που πραγματοποιήθηκαν σε άλλες περιοχές της Μεσογείου Θάλασσας (Ott, 1990).

(β) Ο μέσος όρος του δείκτη φυλλικής επιφάνειας μεταβάλλεται εποχικά και στους δύο σταθμούς παρουσιάζοντας μέγιστο το καλοκαίρι ($7,28 \text{ m}^2/\text{m}^2$ στο Σταθμό 1 και $8,16 \text{ m}^2/\text{m}^2$ στο Σταθμό 2) και ελάχιστο το φθινόπωρο-χειμώνα ($3,00 \text{ m}^2/\text{m}^2$ στο Σταθμό 1 και $7,55 \text{ m}^2/\text{m}^2$ στο Σταθμό 2). Οι εποχικές μεταβολές του δείκτη φυλλικής επιφάνειας ήταν στατιστικά σημαντικές και στους δύο σταθμούς (Εικόνες 13, 14, 18 και 19). Σύμφωνα με βιβλιογραφικές αναφορές (Ott, 1980; Romero, 1989; Pergent & Pergent-Martini, 1991), οι εποχικές μεταβολές του δείκτη φυλλικής επιφάνειας σχετίζονται με τις εποχικές μεταβολές του ρυθμού παραγωγής και αύξησης των φύλλων των ατόμων της *Posidonia oceanica*, οι οποίες επηρεάζονται από τις εποχικές μεταβολές των αβιοτικών παραμέτρων και κυρίως της θερμοκρασίας. Στατιστικά σημαντική συσχέτιση του δείκτη φυλλικής επιφάνειας με τη θερμοκρασία παρατηρήθηκε μόνο στο Σταθμό 2 (Πίνακας 3).

(γ) Η μεταβολή της περιοδικότητας των κύκλων λεπιδοχρονολόγησης (αριθμός φύλλων που μετρήθηκαν μεταξύ δύο ελάχιστων τιμών) ήταν στατιστικά σημαντική και στους δύο σταθμούς (Εικόνες 30 και 32). Η περίοδος των κύκλων μπορεί να ελέγχεται από ενδογενείς παράγοντες, όπως είναι η άνθηση του φυτού (Panayotidis, 1986; Pergent, 1987) και από εξωγενείς παράγοντες, κυριότερους από τους οποίους είναι οι μεταβολές της θερμοκρασίας και της φωτοσυνθετικά ενεργούς ακτινοβολίας (Pergent, 1987; Pergent, 1990). Στην παρούσα μελέτη δεν παρατηρήθηκαν σημάδια άνθησης των κάθετων ριζωμάτων στο χρονικό διάστημα των επτά τελευταίων ετών (1991-1997) και επιπλέον δεν υπάρχουν δεδομένα για τη μεταβολή των αβιοτικών παραμέτρων στους σταθμούς μελέτης για την ίδια χρονική περίοδο. Είναι, ωστόσο, αξιοσημείωτο το γεγονός ότι κατά τη χρονική περίοδο 1994-1995 παρατηρήθηκε μέγιστη παραγωγή φύλλων και στα δύο λιβάδια.

(δ) Ο ρυθμός παραγωγής των φύλλων ανά έτος λεπιδοχρονολόγησης δεν παρουσίασε στατιστικά σημαντικές διαφορές στους δύο σταθμούς (Εικόνες 33 και 34) και ήταν κατά μέσο όρο περίπου $6,4$ φύλλα/ έτος λεπιδοχρονολόγησης. Σύμφωνα με τον Pergent (1990) η μέση τιμή του ρυθμού παραγωγής των φύλλων σε λιβάδια της Δυτικής Μεσογείου σε βάθος 15 m είναι λίγο μεγαλύτερη από 7 φύλλα/ έτος λεπιδοχρονολόγησης. Το παραπάνω αποτέλεσμα μπορεί να εξηγηθεί από τις διαφορετικές συνθήκες περιβάλλοντος μεταξύ της Δυτικής Μεσογείου και του Βορείου Αιγαίου.

Οι κυριότερες διαφορές μεταξύ των λιβαδιών των δύο σταθμών είναι:

(α) Η μέση πυκνότητα του λιβαδιού της *Posidonia oceanica* ήταν στατιστικά σημαντικά μεγαλύτερη στο Σταθμό 2 από το Σταθμό 1 (Εικόνα 22). Συγκεκριμένα η μέση

πυκνότητα στους Σταθμούς 1 και 2 ήταν 328 άτομα/m² και 441,2 άτομα/m², αντίστοιχα. Παρόμοιες πυκνότητες έχουν βρεθεί και σε άλλες περιοχές της Μεσογείου Θάλασσας (Ott, 1980; Boudouresque *et al.*, 1991; Alcoverro *et al.*, 1995; Mostafa & Halim, 1995). Σύμφωνα με τον Giraud (1977) η πυκνότητα ενός λιβαδιού μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως ένας δείκτης της οικολογικής του κατάστασης. Συγκεκριμένα, με κριτήριο την πυκνότητα, ο ίδιος συγγραφέας ταξινόμησε τα λιβάδια της *P. oceanica* σε πέντε κατηγορίες, από τα πυκνότερα (Κατηγορία 1) μέχρι τα αραιότερα (κατηγορία 5). Με βάση την παραπάνω ταξινόμηση, το λιβάδι στο Σταθμό 1 ανήκει στην κατηγορία 3 των «αραιών» λιβαδιών με μέση πυκνότητα από 300-400 άτομα/m². Σύμφωνα με τον συγγραφέα, τα λιβάδια που ανήκουν στην κατηγορία αυτή βρίσκονται σε ένα στάδιο αρχικής υποβάθμισης. Αντίθετα το λιβάδι στο Σταθμό 2 ανήκει στην κατηγορία 2 των “πυκνών” λιβαδιών με πυκνότητα από 400-700 άτομα/m². Τα λιβάδια που ανήκουν στην κατηγορία αυτή βρίσκονται στην κορυφή της δυναμικής τους ισορροπίας και στην έναρξη της μετάβασης στην αμέσως χαμηλότερη κατηγορία.

(β) Η μέση τιμή του δείκτη φυλλικής επιφάνειας ήταν στατιστικά σημαντικά μεγαλύτερη στο Σταθμό 2 σε σχέση με το Σταθμό 1. Συγκεκριμένα η μέση τιμή του δείκτη φυλλικής επιφάνειας στους Σταθμούς 1 και 2 ήταν 4,734 m²/m² και 9,18 m²/m², αντίστοιχα (Εικόνα 25). Παρόμοιες τιμές του δείκτη φυλλικής επιφάνειας έχουν βρεθεί και σε άλλες περιοχές της Μεσογείου Θάλασσας (Giraud *et al.*, 1977; Pergent, 1987; Mostafa & Halim, 1995).

(γ) Η μέση τιμή της φωτοσυνθετικής βιομάζας (Εικόνα 26) και της ολικής ζωντανής βιομάζας (Εικόνα 27) ήταν στατιστικά σημαντικά μεγαλύτερη στο Σταθμό 2 από το Σταθμό 1. Συγκεκριμένα η μέση τιμή της φωτοσυνθετικής βιομάζας στους Σταθμούς 1 και 2 ήταν 195,4 gr/m² και 384,56 gr/m², αντίστοιχα. Η μέση τιμή της ολικής βιομάζας στους Σταθμούς 1 και 2 ήταν 1199,97 gr/m² και 1742,8 gr/m², αντίστοιχα.

Οι παραπάνω διαφορές μεταξύ των λιβαδιών της *Posidonia oceanica* που μελετήθηκαν στην παρούσα εργασία μπορεί να οφείλονται σε φυσικά ή ανθρωπογενή αίτια.

Μεταξύ των κυριότερων φυσικών παραμέτρων που επηρεάζουν τα φαινολογικά χαρακτηριστικά και την πρωτογενή παραγωγή των λιβαδιών της *Posidonia oceanica* είναι η θερμοκρασία και η ακτινοβολία (Alcoverro *et al.*, 1995; Zupo *et al.*, 1997). Σε ότι αφορά τη θερμοκρασία οι δύο σταθμοί παρουσιάζουν στατιστικά σημαντικές διαφορές ως προς την εποχική διακύμανση της μέσης θερμοκρασίας της στήλης του νερού (Εικόνα 9). Συγκεκριμένα, στο Σταθμό 1, σε σχέση με το Σταθμό 2, μετρήθηκαν χαμηλότερες μέσες θερμοκρασίες στην στήλη του νερού το χειμώνα (10,64 °C αντί 10,7 °C) και το καλοκαίρι

(23,3 °C αντί 24,98 °C). Βέβαια οι δύο σταθμοί βρίσκονται στην ίδια γεωγραφική ζώνη, γι' αυτό και οι μεταβολές της θερμοκρασίας συσχετίζονται στατιστικά σημαντικά (Πίνακας 1). Σε ότι αφορά το συντελεστή εξασθένησης της φωτοσυνθετικά ενεργούς ακτινοβολίας στη στήλη του νερού στους δύο σταθμούς δεν μετρήθηκαν στατιστικά σημαντικές διαφορές (Εικόνα 11). Συγκεκριμένα, λαμβάνοντας υπόψη ότι οι δύο σταθμοί βρίσκονται σε σχετικά μικρή απόσταση ο ένας από τον άλλο, υποθέτουμε ότι στην επιφάνεια του νερού φθάνει η ίδια ποσότητα και ποιότητα της ηλιακής ακτινοβολίας. Με δεδομένο ότι ο συντελεστής εξασθένησης της φωτοσυνθετικά ενεργούς ακτινοβολίας δε διαφέρει στατιστικά σημαντικά στις δύο περιοχές, συμπεραίνουμε ότι η ίδια ποσότητα και ποιότητα ακτινοβολίας φθάνει στα φύλλα της *P. oceanica*.

Εκτός από τη θερμοκρασία και την ακτινοβολία στην παρούσα εργασία μετρήθηκε και η αλατότητα της στήλης του νερού. Σε ότι αφορά την αλατότητα οι δύο σταθμοί παρουσιάζουν στατιστικά σημαντικές διαφορές ως προς την εποχική διακύμανση της μέσης αλατότητας της στήλης του νερού (Εικόνα 10). Συγκεκριμένα, στο Σταθμό 1, η χαμηλότερη μέση αλατότητα της στήλης του νερού μετρήθηκε το φθινόπωρο (32,58 ‰) και η υψηλότερη την άνοιξη του 1999 (35,78‰). Στο Σταθμό 2, η χαμηλότερη μέση αλατότητα της στήλης του νερού μετρήθηκε το φθινόπωρο (33,17 ‰) και η υψηλότερη την άνοιξη του 1998 (35,53‰). Αν και οι δύο σταθμοί βρίσκονται σε σχετικά μικρή απόσταση ο ένας από τον άλλον, οι μεταβολές της μέσης αλατότητας δε συσχετίζονται στατιστικά σημαντικά (Πίνακας 1). Επιπλέον, η μέση αλατότητα της στήλης του νερού συσχετίζεται στατιστικά σημαντικά (αρνητική συσχέτιση) με τη θερμοκρασία μόνο στο Σταθμό 2 (Πίνακας 3). Το αποτέλεσμα αυτό δείχνει την επίδραση των νερών της Μαύρης Θάλασσας στην περιοχή μελέτης, που σύμφωνα με τους Zodiatis (1994) και Περιβολιώτης κ.α. (1997) είναι μεγαλύτερη το καλοκαίρι και μικρότερη το χειμώνα. Αντίθετα, η μη στατιστικά σημαντική συσχέτιση της αλατότητας με τη θερμοκρασία στο Σταθμό 1 (Πίνακας 2) δείχνει τη σημαντική επίδραση των ποταμών Στρυμόνα και Ρήχειου στο αβιοτικό περιβάλλον του σταθμού. Το αποτέλεσμα αυτό επιβεβαιώνεται και από άλλες εργασίες (Συλαίος, 1999) που πραγματοποιήθηκαν στην περιοχή στα πλαίσια του ίδιου προγράμματος.

Μεταξύ των κυριότερων ανθρωπογενών αιτίων που επηρεάζουν την οικολογική κατάσταση των λιβαδιών της *Posidonia oceanica* είναι ο ευτροφισμός, οι κατασκευές κατά μήκος της ακτογραμμής και η αλιεία με μηχανότραπεzes (Bourcier, 1989).

Στα πλαίσια του ίδιου προγράμματος μετρήθηκαν οι συγκεντρώσεις των ανόργανων θρεπτικών αλάτων στα νερά του Στρυμονικού Κόλπου. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα αυτής της έρευνας (Σταμάτης & Ιωαννίδου 1999) υπάρχει μια διαβάθμιση της συγκέντρωσης των θρεπτικών αλάτων από τις εκβολές των ποταμών Στρυμόνα και Ρήχειου προς το άνοιγμα του

Κόλπου. Οι υψηλότερες συγκεντρώσεις, όπως αναμενόταν, μετρήθηκαν στις εκβολές των δύο ποταμών. Γενικά η περιοχή μπορεί να χαρακτηριστεί από oligότροφη μέχρι μεσότροφη, εκτός από τις εκβολές του ποταμού Στρυμόνα που είναι εύτροφη περιοχή. Με βάση τα παραπάνω οι δύο σταθμοί στους οποίους μελετήθηκαν τα λιβάδια της *Posidonia oceanica* δέχονται διαφορετικά φορτία θρεπτικών αλάτων. Συγκεκριμένα ο Σταθμός 1 δέχεται υψηλότερα φορτία από το Σταθμό 2 γιατί βρίσκεται σε μικρότερη απόσταση από τις εκβολές των ποταμών της περιοχής. Επίσης ο Σταθμός 1 βρίσκεται κοντά σε μεγάλους οικισμούς, όπως είναι η Ασπροβάλτα, ο Σταυρός και η Ολυμπιάδα που παρουσιάζουν έντονη τουριστική ανάπτυξη κατά τους καλοκαιρινούς μήνες, καθώς και κοντά στις Ιχθυοκαλλιέργειες της περιοχής. Σύμφωνα με τη βιβλιογραφία (Panayotidis & Simboura, 1989; Schramm & Nienhuis, 1989), οι υψηλές συγκεντρώσεις θρεπτικών αλάτων στο νερό επηρεάζουν δευτερογενώς, μέσω δηλαδή της ανάπτυξης του φυτοπλαγκτού και της μείωσης της διερχόμενης ακτινοβολίας από τη στήλη του νερού, την οικολογική ισορροπία των λιβαδιών της *P. oceanica*. Επιπλέον, η αύξηση των θρεπτικών αλάτων διευκολύνει την αύξηση των επιφύτων στα φύλλα της *P. oceanica* με αποτέλεσμα τη μείωση της φωτοσυνθετικά ενεργούς ακτινοβολίας που φθάνει στους χλωροπλάστες των φύλλων για φωτοσύνθεση (Shepherd et. al. 1989). Τα αποτελέσματα της παρούσης έρευνας δεν έδειξαν στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ του συντελεστή εξασθένησης της φωτοσυνθετικά ενεργούς ακτινοβολίας, που είναι δείκτης της θολερότητας του νερού, στις δύο περιοχές. Επιπλέον, κατά τη διάρκεια των δειγματοληψιών δεν παρατηρήθηκε άνθιση φυτοπλαγκτού στις δύο περιοχές. Βέβαια, πρέπει να σημειώσουμε το μικρό αριθμό δειγματοληψιών που πραγματοποιήθηκαν κατά τη διάρκεια της μελέτης, ο οποίος δίνει πολύ ικανοποιητικά αποτελέσματα για τα λιβάδια της *P. oceanica*, αλλά λιγότερο ικανοποιητικά αποτελέσματα για τη θολερότητα του νερού και την αύξηση του φυτοπλαγκτού. Με βάση τα παραπάνω και του γεγονότος μη ύπαρξης σημαντικής κάλυψης από επίφυτα στα φύλλα της *P. oceanica* των δύο περιοχών (μη δημοσιευμένα αποτελέσματα) οδηγούμαστε στο συμπέρασμα ότι οι διαφορές που παρατηρήθηκαν στα δύο λιβάδια των περιοχών που εξετάστηκαν πρέπει να αποδοθούν ίσως μερικώς, αλλά όχι ολοκληρωτικά στον ευτροφισμό της περιοχής.

Από τις σύγχρονες μεθόδους αλιείας, η αλιεία με συρόμενα εργαλεία μέσης αλιείας (μηχανότρατες) φαίνεται να επηρεάζει αρνητικά την οικολογική ισορροπία των λιβαδιών της *Posidonia oceanica* γιατί με τη σύρση προκαλείται αποκοπή φύλλων ή και ολόκληρων ατόμων του λιβαδιού. Από τους δύο σταθμούς μελέτης η χρησιμοποίηση των παραπάνω εργαλείων αλιείας επιτρέπεται μόνο στο Σταθμό 1. Στα αποτελέσματα της εργασίας των Ορφανίδης κ.α. (1999), που αφορά τη μελέτη των λιβαδιών της *P. oceanica* της ίδιας περιοχής, φαίνεται ότι ορισμένες τάξεις φύλλων με μήκος μεγαλύτερο των 50 cm λείπουν ή

είναι ολιγάριθμες στο λιβάδι του Σταθμού 1 σε σχέση με αυτό του Σταθμού 2 ($p < 0.05$; ANOVA). Το αποτέλεσμα αυτό σε συνδυασμό με παρόμοιες παρατηρήσεις σε άλλες περιοχές της Μεσογείου Θάλασσας (Mostafa & Halim, 1995) μπορεί να αποδοθεί στη δράση των συρόμενων αλιευτικών εργαλείων.

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

- Τα αποτελέσματα της παρούσης έρευνας έδειξαν ότι το φανερόγαμο *Posidonia oceanica* μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως βιοδείκτης της οικολογικής επιβάρυνσης μιας θαλάσσιας περιοχής, κατά κύριο λόγο από προσθήκες ανόργανων θρεπτικών αλάτων και αλιεία με συρόμενα εργαλεία μέσης αλιείας.
- Τα δύο λιβάδια της *Posidonia oceanica* που μελετήθηκαν σε δύο περιοχές του Στρυμονικού Κόλπου, δείχνουν ότι το λιβάδι που βρίσκεται στο Σταθμό 2 (Στρατώνι, Κόλπος Ιερισσού) βρίσκεται σε καλύτερη οικολογική κατάσταση από το αντίστοιχο στο Σταθμό 1 (Ολυμπιάδα). Οι κυριότεροι παράμετροι που δικαιολογούν το παραπάνω συμπέρασμα είναι οι διαφορές που παρατηρήθηκαν στα δύο λιβάδια ως προς την πυκνότητα των ατόμων και το μέγεθος των φύλλων. Οι κυριότερες αιτίες γι' αυτό το αποτέλεσμα φαίνεται να είναι ο ευτροφισμός των υδάτων και η αλιεία με συρόμενα εργαλεία μέσης αλιείας.
- Τα αποτελέσματα της λεπιδochρονολόγησης δείχνουν μια τάση μείωση της παραγωγής των φύλλων ανά έτος λεπιδochρονολόγησης της *Posidonia oceanica* κατά τη χρονική περίοδο 1996-1997 στο Σταθμό 1 (Ολυμπιάδα). Για να εξεταστεί αν η τάση αυτή είναι στατιστικά σημαντική ή συμπτωματική απαιτείται η συνέχιση του προγράμματος της παρακολούθησης.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Alcoverro, T., Duarte C. M. & Romero J., 1995. Annual growth dynamics of *Posidonia oceanica*: contribution of large-scale versus local factors to seasonality. Mar. Ecol. Prog. Ser., 120: 203-210.
- Boudouresque, C. F., Avon, M. & Gravez, V. (Eds), 1991. *Les especes marines a proteger en Mediterranee*. GIS Posidonie Publ. France, 448 pp.
- Bourcier, M., 1989. Regression des herbiers a *Posidonia oceanica* (L.) Delile, a l' Est de Marseille, sous l'action conjuee des activites humaines et des modifications climatiques. In *International Workshop on Posidonia beds* (eds C. F. Boudouresque, A Meinesz, E. Fresi & V. Gravez). CIS Posidonie Publ., Marseille, 2: 287-292.
- Bulthius, D. A., 1990. Leaf surface area. In *Seagrass research methods* (eds R. C Phillips, C. P. McRoy). Unesco, 69-70 pp.
- Downing, J. A. & Anderson, M. A., 1985. Estimating the standing biomass of aquatic macrophytes. Can. J. Fish. Aquat. Sci., 42: 1860-1869.
- Fonseca, M. S., Thayer, G. W. & Kenworthy, W. J. ,1990. Root/shoot ratios. In *Seagrass research methods* (eds R. C Phillips, C. P. McRoy). Unesco, 65-67 pp.
- Giraud, G., 1977. Contribution a la Description et a la Phenologie Quantitative de *Posidonia oceanica* (L) Delile. These Doctor Oceanol., Univ. Aix-Marseille II, pp. 1-150.
- Giraud, G., Boudouresque, C. F., Marcot- Conqueugniot, J., Meinesz, A. & Verlaque, M., 1977. Indices foliaire de *Posidonia oceanica* (Linne) Delile en Corse et dans la region marseillaise. Rapp. P.v. Reun. CIESM. 24 (4): 131-132.
- Larkum, A. W. D. , McComb, A. J. & Shepherd, S. A. (Eds), 1989. *Biology of Seagrasses*. Elsevier Science Publishers B. V., 825 pp.
- Mostafa, M. H. & Halim, Y., 1995. Phenology, rhizome growth rate and rhizome production of *Posidonia oceanica* (L.) Delile along a depth gradient: preliminary approach using lepidochronology. Mar. Life, 5: 19-27.
- Ορφανίδης, Σ., Τσιάγγα, Ε. & Λαζαρίδου, Ε., 2000. Τα λιβάδια της *Posidonia oceanica* (L.) Delile ως βιοδείκτης της οικολογικής ποιότητας του θαλάσσιου περιβάλλοντος του Στρυμονικού Κόλπου. Πρακτικά 6^{ου} Πανελλήνιου Συμπόσιου Ωκεανογραφίας και Αλιείας (υπό εκτύπωση).
- Orth, R. J. & Moore, K. A., 1983. Chesapeake Bay: an unprecedented decline in submerged aquatic vegetation. Science, 222: 51-53.
- Ott, J. A., 1980. Growth and production in *Posidonia oceanica* (L.) Delile. P.S.S.N.I. Mar. Ecology, 1: 47-64.

- Ott, J. A., 1990. Biomass. . In *Seagrass research methods* (eds R. C Phillips, C. P. McRoy). Unesco, 55-60 pp.
- Panayiotidis, P., 1980. Contribution a l etude qualitative et quantitative de l' association *Posidonietum oceanicae* Funk, 1927. Bsc. Thesis, Univ. d' Aix-Marseille, France. 213p.
- Panayiotidis, P., 1986. Influence de la floraison sur le cycle de rounevellement des feuilles de *Posidonia oceanica* (L) Delile dans le golf de Saronikos (Mer Egee, Greece) Rapp. P. V. Reun. Comm. Int. Explor. Sci. Medit., 30: 6.
- Panayiotidis, P. & Simboura, N., 1989. Distribution and phenology of *Posidonia oceanica* in Saronikos Gulf (Aegean Sea, Greece). In *International Workshop on Posidonia beds* (eds C. F. Boudouresque, A. Meinesz, E. Fresi & V. Gravez). CIS Posidonie Publ., Marseille, 2: 43-48.
- Pergent, G., 1987. Recherhes Lepidochronologiques chez *Posidonia oceanica* (Potamogetonaceae), Fluctuations de parametres anatomiques des ecailles de rhizomes. These Doctor Oceanol., Univ. Aix-Marseille II, 1-853 pp.
- Pergent, G., 1990. Lepidochronological analysis of the seagrass *Posdonia oceanica* (L) Delile: a standardized approach. *Aquatic Bot.*, 37: 39-54.
- Pergent, G. & Pergent-Martini, C., 1991. Leaf renewal cycle and primary production of *Posidonia oceanica* in the bay of Lacco Ameno (Ischia, Italy) using lepidochronological analysis. *Aq. Botany*, 42: 49-66.
- Περιβολιώτης, Λ., Λασκαράτος, Α. & Νίτης Κ., 1997. Μελέτη της γενικής κυκλοφορίας και του σχηματισμού θαλασσίων μαζών στο Αιγαίο Πέλαγος με τη χρήση αριθμητικού μοντέλου. Πρακτικά 5^{ου} Πανελλήνιου Συμπόσιου Ωκεανογραφίας και Αλιείας, Τόμος 1: 339-342.
- Romero, J., 1989. Seasonal pattern of *Posidonia oceanica* production: Growth, age and renewal of leaves. In *International Workshop on Posidonia beds* (eds C. F. Boudouresque, A. Meinesz, E. Fresi & V. Gravez). CIS Posidonie Publ., Marseille, 2: 63-67.
- Schramm, W. & Nienhuis, P.H. (Eds), 1996. *Marine benthic vegetation: recent changes and the effects of eutrophication*. Ecological studies 123. Springer-Verlag, 470 pp.
- Shepherd, S. A., McComb, A. J., Bulthuis, D. A., Neverauskas, V., Steffensen, D. A. & West, R., 1989. Decline of seagrasses. In *Biology of Seagrasses* (eds A. W. D. Larkum, A. J. McComb & S. A. Shepherd). Elsevier, Amsterdam, 346-393 pp.
- Σταμάτης, Ν. & Ιωαννίδου, Δ., 1999. Χωρική και χρονική κατανομή των θρεπτικών αλάτων στον Στρυμονικό Κόλπο και στον Κόλπο της Ιερισσού. Στην Τελική έκθεση: Περιγραφή της παράκτιας ζώνης των Κόλπων Στρυμονικού και Ιερισσού, Πρόγραμμα Life

- “Συντονισμένες δράσεις για τη διαχείριση της παράκτιας ζώνης του Στρυμονικού Κόλπου» (εκδότες, Ε. Κουτράκης, Ε. Λαζαρίδου), σελ. 207-235.
- Συλαίος, Γ., 1999. Μαθηματικό ομοίωμα παλιρροιακής κυκλοφορίας Στρυμονικού Κόλπου και Κόλπου Ιερισσού. Στην Τελική έκθεση: Περιγραφή της παράκτιας ζώνης των Κόλπων Στρυμονικού και Ιερισσού, Πρόγραμμα Life “Συντονισμένες δράσεις για τη διαχείριση της παράκτιας ζώνης του Στρυμονικού Κόλπου» (εκδότες, Ε. Κουτράκης, Ε. Λαζαρίδου), σελ. 189-206.
- Zar, J. H., 1984. *Biostatistical analysis*, 2nd edn. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, NJ.
- Zodiatis, G., 1994. Advection of the Black Sea water in the North Aegean Sea. *The Global Atmosphere and Ocean System*, Vol. 2: 41-60.
- Zupo, V., Buia, M. C., Mazzella, L., 1997. A production model for *Posidonia oceanica* based on temperature. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 44: 483-492.

FIGURE LEGENDS

Figure 1. Map of the study area.

Figure 2. Seasonal variation of temperature in water column in Station 1 (Olympiada).

Figure 3. Seasonal variation of salinity in water column in Station 1 (Olympiada).

Figure 4. Seasonal variation of photosynthetic active radiation in water column in Station 1 (Olympiada). K = attenuation coefficient.

Figure 5. Seasonal variation of temperature in water column in Station 2 (Stratoni).

Figure 6. Seasonal variation of salinity in water column in Station 2 (Stratoni).

Figure 7. Seasonal variation of photosynthetic active radiation in water column in Station 2 (Stratoni). K = attenuation coefficient.

Figure 8. Salinity-Temperature diagram in Stations 1 (Olympiada) and 2 (Stratoni) in 15 m water depth.

Figure 9. Seasonal variation of the mean value of the water temperature in water column in Stations 1 (Olympiada) and 2 (Stratoni).

Figure 10. Seasonal variation of the mean value of the salinity in water column in Stations 1 (Olympiada) and 2 (Stratoni).

Figure 11. Seasonal variation of attenuation coefficient K in Stations 1 (Olympiada) and 2 (Stratoni).

Figure 12. Mean value, standard deviation and standard error of the density (shoots/m²) of *Posidonia oceanica* meadow in Station 1 (Olympiada), during sampling period.

Figure 13. Mean value, standard deviation and standard error of the leaf area index (cm²/shoot) of *Posidonia oceanica* meadow in Station 1 (Olympiada) during sampling period.

Figure 14. Mean value, standard deviation and standard error of the leaf area index (m²/ m²) of *Posidonia oceanica* meadow in Station 1 (Olympiada) during sampling period.

Figure 15. Mean value, standard deviation and standard error of the dry photosynthetic biomass (g/m²) of *Posidonia oceanica* meadow in Station 1 (Olympiada) during sampling period.

Figure 16. Mean value, standard deviation and standard error of the total dry biomass (g/m²) of *Posidonia oceanica* meadow in Station 1 (Olympiada) during sampling period.

Figure 17. Mean value, standard deviation and standard error of the density (shoots/m²) of *Posidonia oceanica* meadow in Station 2 (Stratoni), during sampling period.

Figure 18. Mean value, standard deviation and standard error of the leaf area index (cm²/shoot) of *Posidonia oceanica* meadow in Station 2 (Stratoni) during sampling period.

- Figure 19.** Mean value, standard deviation and standard error of the leaf area index (m^2/m^2) of *Posidonia oceanica* meadow in Station 2 (Stratoni) during sampling period.
- Figure 20.** Mean value, standard deviation and standard error of the dry photosynthetic biomass (g/m^2) of *Posidonia oceanica* meadow in Station 2 (Stratoni) during sampling period.
- Figure 21.** Mean value, standard deviation and standard error of the total dry biomass (g/m^2) of *Posidonia oceanica* meadow in Station 2 (Stratoni) during sampling period.
- Figure 22.** Mean value, standard deviation and standard error of the density (shoots/ m^2) of *Posidonia oceanica* meadow in Stations 1 (Olympiada) and 2 (Stratoni).
- Figure 23.** Mean value, standard deviation and standard error of the density (shoots/ m^2) of *Posidonia oceanica* meadow during sampling period.
- Figure 24.** Mean value, standard deviation and standard error of the leaf area index (cm^2/shoot) of *Posidonia oceanica* meadow during sampling period in Stations 1 (Olympiada) and 2 (Stratoni).
- Figure 25.** Mean value, standard deviation and standard error of the leaf area index (m^2/m^2) of *Posidonia oceanica* meadow during sampling period in Stations 1 (Olympiada) and 2 (Stratoni).
- Figure 26.** Mean value, standard deviation and standard error of the dry photosynthetic biomass (g/m^2) of *Posidonia oceanica* meadow during sampling period in Stations 1 (Olympiada) and 2 (Stratoni).
- Figure 27.** Mean value, standard deviation and standard error of the total dry biomass (g/m^2) of *Posidonia oceanica* meadow during sampling period in Stations 1 (Olympiada) and 2 (Stratoni).
- Figure 28.** Mean value, standard deviation and standard error of the alive/total biomass (%) of *Posidonia oceanica* meadow during sampling period in Stations 1 (Olympiada) and 2 (Stratoni).
- Figure 29.** Cyclic variation of scale thickness of an orthotropic rhizome in Station 1 (Olympiada). The chronological significance of cycles and the number of leaves produced per year are also indicated.
- Figure 30.** Mean value, standard deviation and standard error of the number of leaves produced per cycle, in Station 1 (Olympiada), during the lepidochronological years 1991-1997.
- Figure 31.** Cyclic variation of scale thickness of an orthotropic rhizome in Station 2 (Stratoni). The chronological significance of cycles and the number of leaves produced per year are also indicated.

Figure 32. Mean value, standard deviation and standard error of the number of leaves produced per cycle, in Station 2 (Stratoni), during the lepidochronological years 1991-1997.

Figure 33. Mean value of the number of leaves produced per cycle, in Stations 1 (Olympiada) and 2 (Stratoni), during the lepidochronological years 1991-1997.

Figure 34. Mean value standard deviation and standrd error of the number of leaves produced per lepidochronological year, in Stations 1 (Olympiada) and 2 (Stratoni) during 1991-1997.

TABLE LEGENDS

Table 1. Correlation between abiotic factors in Stations 1 (Olympiada) and 2 (Stratoni). Correlation is significant for values at $p < 0,05$ (significant correlations values are marked with *).

Table 2. Correlation between abiotic and biotic factors in Station 1 (Olympiada). Correlation is significant for values at $p < 0,05$ (corresponding values are marked with *).

Table 3. Correlation between abiotic and biotic factors in Station 2 (Stratoni). Correlation is significant for values at $p < 0,05$ (corresponding values are marked with *).

ΑΛΛΕΣ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΕΣ ΠΗΓΕΣ

- Finlayson, C.M. 1996. Framework for designing a monitoring programme. p. 25-34. In: P.T. Vives (editor). Monitoring Mediterranean wetlands: a methodological guide. MedWet publication. Wetlands International, Slimbridge, UK and ICN, Lisbon.
- Hellawell, J. M. 1991. Development of a rational for monitoring. In Goldsmith F. B. (ed). Monitoring for conservation and ecology. Chapman and Hall, London, UK. p 1-14.